

А. Р. Маслов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Учебное пособие

**Ай Пи Ар Медиа
Москва • 2021**

УДК 621.7

ББК 34.5

МЗ1

Автор:

Маслов А. Р. — д-р техн. наук, проф. кафедры МТ-2
факультета МТ МГТУ им. Н. Э. Баумана;

Рецензенты:

Тимирязев В. А. — д-р техн. наук, проф.,
проф. кафедры технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»,
лауреат Ленинской премии;

Балков В. П. — канд. техн. наук, зам. генерального директора
по научной работе АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Маслов, А. Р.

МЗ1 Проектирование технологической оснастки : учебное пособие /
А. Р. Маслов. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 164 с. — Текст : элек-
тронный.

ISBN 978-5-4497-0835-9

В учебном пособии рассмотрены компоненты технологической оснастки для изготовления резанием широкой номенклатуры деталей машиностроительного производства: приспособлений для закрепления заготовок (станочные приспособления) и приспособлений для закрепления металлорежущего инструмента (вспомогательный инструмент) на станках с ЧПУ, ГПИМ и ГПС.

Подготовлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» (профиль «Проектирование механообрабатывающих и инструментальных комплексов в машиностроении»), изучающих дисциплину «Проектирование технологической оснастки».

Учебное электронное издание

© Маслов А. Р., 2021

© ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа», 2021

Редактор *М. В. Половникова*
Технический редактор, компьютерная верстка *А.Д. Матлахова*
Корректор *А. В. Мисенжников*
Обложка *С. С. Сизиумовой*

Подписано к использованию 30.11.2020. Объем данных 15 Мб.

Издание представлено в электронно-библиотечных системах
IPR BOOKS (www.iprbookshop.ru),
Библиокомплектатор (www.bibliocomplectator.ru)

Бесплатный звонок по России: **8-800-555-22-35**
Тел.: 8 (8452) 24-77-97, 8 (8452) 24-77-96

Отдел продаж и внедрения ЭБС:
доб. 206, 213, 144, 145
E-mail: sales@iprmedia.ru

Отдел комплектования ЭБС:
доб. 224, 227, 208
E-mail: mail@iprbookshop.ru

По вопросам приобретения издания обращаться:
доб. 208, 201, 222, 224
E-mail: izdat@iprmedia.ru, author@iprmedia.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	6
Введение	7
Глава 1. Требования к технологической оснастке и особенности ее применения на станках с ЧПУ.....	11
1.1. Системы приспособлений для металлорежущих станков	12
1.2. Базирование заготовок и инструмента в приспособлениях	15
1.3. Формирование требований к точности и жесткости приспособлений.....	19
Глава 2. Точность приспособлений для закрепления заготовок.....	34
2.1. Особенности базирования и закрепления заготовок на станках с ЧПУ	34
2.2. Погрешности установки заготовок в приспособлениях.....	36
2.3. Погрешности установки приспособлений на станках.....	41
2.4. Измерение фактического положения заготовки на станке	44
Глава 3. Конструкции приспособлений для крепления заготовок и их приводы	47
3.1. Приспособления для станков токарной группы.....	47
3.2. Универсально-наладочные приспособления для станков общего назначения	57
3.3. Универсально-наладочные приспособления для станков с ЧПУ	60
3.4. Универсальные и специальные сборно-разборные приспособления	69
Глава 4. Приспособления для смены заготовок на ГПМ и ГПС.....	79
4.1. Приспособления для обработки заготовок в одну операцию	79
4.2. Автоматическая смена заготовок из накопителей.....	80
Глава 5. Силы зажима заготовок в приспособлениях	89
5.1. Обрабатываемость материалов заготовок	89
5.2. Силы зажима заготовок при точении, сверлении и фрезеровании	103

Глава 6. Универсально-наладочные приспособления	
для закрепления режущего инструмента	113
6.1. Стандартизованные элементы конструкций	113
6.2. Расчет размеров и допускаемых отклонений базисных агрегатов и сменных наладок	123
6.3. Специальные конструкции приспособлений.....	138
 Глава 7. Системы приспособлений для закрепления	
режущего инструмента.....	146
7.1. Синтез системы приспособлений для закрепления инструмента	146
7.2. Унификация приспособлений для многоцелевых станков	152
 Заключение	162
 Рекомендуемая литература	164

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для современных инженеров-технологов машиностроения необходимы твердые знания в области расчета и проектирования технологической оснастки.

Модернизация машиностроения в связи с переходом на цифровые технологии ставит задачу точного формулирования требований к технологической оснастке при автоматизированной подготовке производства.

Несмотря на широкий спектр покупных элементов технологической оснастки на рынке, выбор рационального оснащения конкретного производства остается актуальным.

Особое место в обучении специалистов по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» занимают навыки выявления требований к точности и жесткости технологической оснастки как составляющей технологических систем «станок — приспособление — деталь — инструмент».

Это необходимо для оценки совокупного влияния указанных точности и жесткости на конечный результат получения деталей с заданным качеством. В первую очередь это необходимо для выполнения технологических расчетов и обоснования принятых технологических решений.

При подготовке учебного пособия автор пользовался богатейшим опытом научных школ МГТУ им. Н. Э. Баумана и МГТУ «СТАНКИН», основателями которых были профессора В. М. Кован и Б. С. Балакшин.

В предлагаемом пособии, ограниченном по содержанию рамками рабочей программы дисциплины «Проектирование технологической оснастки», автор тем не менее попытался отразить новейшие достижения в области автоматизации процессов резания, сохранив в качестве основы методические положения профессора Корсакова В. С. и его последователей.

Не перечисляя здесь всех, кто внес большой вклад в развитие указанной дисциплины, автор с большой признательностью упомянул их в перечне литературы, с которой, как он надеется, студенты ознакомятся при подготовке к семинарам и экзаменам.

Освоение материалов данного учебного пособия направлено на овладение обучающимися следующими **профессиональными компетенциями:**

- способность применять стандартные методы расчета при проектировании машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и производственных объектов, деталей и узлов машиностроения;

- способность выбирать необходимые технические данные для обоснованного принятия решений по проектированию инструментальных комплексов в машиностроении.

ВВЕДЕНИЕ

Технологическая оснастка — это орудия производства, дополняющие металлорежущие станки, и предназначенные для выполнения технологического процесса механической обработки заготовок. Технологическая оснастка, помимо режущего и контрольно-измерительного инструмента, включает: станочные приспособления для установки (базирования и закрепления) заготовки, приспособления для установки режущего инструмента (вспомогательный инструмент) приспособления для измерения фактического положения заготовок и инструмента на станке после их установки.

Точность и производительность изготовления деталей на металлорежущих станках зависит от всех звеньев технологической системы и, в том числе, от технологической оснастки.

Поэтому повышение эффективности использования металлорежущего оборудования, особенно станков с ЧПУ, в значительной мере зависит от технического уровня оснастки. Применение на станках с ЧПУ прогрессивной станочной оснастки позволяет существенно снизить себестоимость изготовления деталей, позволяя при этом повысить точность и производительность обработки заготовок. Анализируя формулу штучно-калькуляционного времени $T_{шт.к.}$, можно установить, что применение прогрессивной оснастки обеспечивает возможность сокращения всех составляющих этого времени:

$$T_{шт.к.} = T_O + T_{всп} + \frac{T_{п-з}}{n} = T_{в.х} + T_y + T_{см.ин} + T_{орг.тех} + \frac{T_{п.з}}{n}$$

где T_O — основное (технологическое) время; $T_{всп}$ — вспомогательное время; $T_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время; n — число заготовок в партии; $T_{в.х}$ — время вспомогательных ходов станка; T_y — время установки (базирования и закрепления) заготовки; $T_{см.ин}$ — время смены инструмента; $T_{орг.тех}$ — время организационно-технического обслуживания, затрачиваемое на замену затупившегося инструмента.

Вспомогательное время характеризует степень автоматизации станка, а подготовительно-заключительное — степень его гибкости, то есть возможность быстрой переналадки на новое изделие. Чем выше степень автоматизации станка, тем меньше $T_{всп}$. Чем выше степень гибкости станка, тем меньше $T_{п.з}$, то есть тем меньше времени затрачивается на переналадку станка при переходе на обработку новой партии заготовок.

Анализ работы гибкой производственной системы (ГПС) из многоцелевых станков с ЧПУ показал, что все составляющие $T_{шт.к}$ можно сократить, используя набор средств сокращения составляющих штучно-калькуляционного времени (см. табл. В.1) применительно к технологической оснастке [1].

Таблица В.1

Средства сокращения составляющих штучно-калькуляционного времени обработки на станках с ЧПУ

Составляющие $T_{шт.к}$	Пути сокращения составляющих $T_{шт.к}$	Реализация за счет применения прогрессивной технологической оснастки
T_o	Интенсификация режимов резания	Оснастка повышенной жесткости. Режущий инструмент, оснащенный твердыми сплавами с износостойкими покрытиями и сверхтвердыми материалами Патроны, снижающие влияние центробежных сил на силы закрепления заготовки и инструмента
	Концентрация переходов	Многошпиндельные переналаживаемые головки Две револьверные головки с независимым перемещением по программе
$T_{в.х}$	Концентрация переходов	Многошпиндельные переналаживаемые головки
	Сокращение времени подвода инструмента	Комбинированный переналаживаемый инструмент
T_y	Сокращение времени базирования заготовок	Приспособления, обеспечивающие полное базирование заготовок, исключая выверку заготовок
	Совмещение времени базирования с временем работы	Устройства для смены заготовок вне рабочей зоны станка или вне станка (в двух приспособлениях) Устройства автоматической смены приспособлений
	Сокращение времени закрепления заготовок	Быстродействующие зажимные устройства
	Совмещение времени закрепления заготовок с временем работы станка	Устройство для смены заготовок вне рабочей зоны станка или вне станка (в двух приспособлениях) Устройства для автоматической смены приспособлений

Составляющие $T_{шт.к}$	Пути сокращения составляющих $T_{шт.к}$	Реализация за счет применения прогрессивной технологической оснастки
T_y	Сокращение количества установок заготовки	Поворотные приспособления для базирования и закрепления заготовки, в которых обеспечивает возможность обработки четырех поверхностей с одной установки заготовки Поворотные приспособления с двумя осями поворота или поворотные стойки, установленные на поворотных столах и обеспечивающие возможность обработки заготовок с пяти сторон с одной установки Револьверные головки, расширяющие технологические возможности станка за счет использования приводных шпинделей для вращающихся инструментов, обеспечивающие полную обработку заготовок деталей типа тел вращения на одном станке
$T_{с.ин}$	Сокращение времени смены инструмента	Приспособления для предварительной настройки инструмента Устройства для полуавтоматической или автоматической смены инструмента
	Сокращение числа смен инструмента	Комбинированный и широкоуниверсальный режущий инструмент (фрезы для нарезания внутренней резьбы)
$T_{орг-тех}$	Сокращение времени замены затупившегося инструмента	Приспособления для предварительной настройки инструмента Устройства для автоматической замены затупившегося инструмента
	Повышение стойкости инструмента	Инструменты, оснащенные твердыми сплавами с износостойкими покрытиями и сверхтвердыми материалами
$T_{п-з}$	Сокращение времени смены комплекта инструмента	Приспособления для предварительной настройки инструмента Быстросменный инструмент Быстросменные диски револьверных головок токарных станков Устройство для автоматической смены инструментов Устройство для автоматической смены инструментальных магазинов

Составляющие $T_{шт.к}$	Пути сокращения составляющих $T_{шт.к}$	Реализация за счет применения прогрессивной технологической оснастки
$T_{п-з}$	Сокращение числа смен инструмента	Многошпиндельные переналаживаемые головки Комбинированный переналаживаемый инструмент
	Сокращение времени смены приспособлений	Приспособления, обеспечивающие полное базирование на станке Быстросменные приспособления Устройства для автоматической смены приспособлений Быстропереналаживаемые приспособления Устройство для автоматической переналадки приспособлений
	Совмещение времени смены приспособлений с временем работы станка	Устройство для смены приспособлений вне рабочей зоны станка или вне станка

ГЛАВА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКЕ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Очевидно, что при проектировании и изготовлении серийной технологической оснастки необходимо рассчитывать на ее универсальное применение. Поскольку для эффективного использования станков с ЧПУ к технологической оснастке предъявляется ряд специфических требований, обусловливаемых их особенностями, то и технический уровень технологической оснастки должен быть ориентирован на использование на станках с ЧПУ, чтобы получить те преимущества, которые могут быть получены от применения этого перспективного оборудования.

Станки с ЧПУ являются станками повышенной точности. Следовательно, для обеспечения высокой точности изготовления деталей, приспособления также должны иметь повышенную точность. Погрешности базирования и закрепления, возникающие при установке заготовок и инструмента в приспособлениях, должны быть сведены к минимуму (по возможности к нулю).

Станки с ЧПУ имеют повышенную жесткость и мощность. Следовательно, конструкции приспособлений, с учетом того, что они в балансе жесткости технологической системы относятся к наиболее податливым звеньям, должны быть рассчитаны на сопротивление деформирующим силам таким образом, чтобы использовать полную мощность станка на черновых операциях и обеспечить высокую точность на чистовых операциях.

Относительное перемещение заготовки и инструмента на станках с ЧПУ осуществляется автоматически в системе заранее заданных координат. Следовательно, приспособления должны обеспечивать полное базирование заготовок и инструмента, то есть лишение их всех шести степеней свободы. Зачастую необходимо строго определенное положение базирующих элементов приспособлений относительно начала координат станка (нулевой точки).

Станки с ЧПУ, например, многоцелевые, обеспечивают возможность обработки до 5 поверхностей детали с одной установки заготовки. Для этого приспособления должны обеспечивать возможность подхода режущего инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям.

Для сокращения времени простоя относительно дорогих станков с ЧПУ, затрачиваемого на смену заготовок и инструмента, приспособления должны обеспечивать сокращение времени этой смены, поскольку это время составляет значительную часть штучно-калькуляционного времени $T_{шт.к.}$.

Возможность обработки на станках с ЧПУ максимального числа поверхностей с одной установки заготовки резко увеличивает цикл обработки заготовки на одном станке, что позволяет выполнить смену заготовки во втором приспособлении вне рабочей зоны станка или вне станка во время его работы.

Станки с ЧПУ выгодно отличаются от традиционных станков-автоматов своей гибкостью, то есть возможностью быстрой переналадки, так как последняя заключается лишь в переключении на другую программу управления процессом обработки. Тем не менее большая часть подготовительно-заключительного времени $T_{п-з}$ затрачивается на установку заготовки в приспособлении или смену технологической оснастки: установку приспособлений с закрепленной заготовкой и комплекта сборок режущего и вспомогательного инструмента. Следовательно, для сокращения времени переналадки станков приспособления должны обеспечивать возможность их быстрой смены или переналадки.

Станки с ЧПУ являются основным средством автоматизации мелко- и среднесерийного производства. Следовательно, на таких станках наиболее эффективно применять переналаживаемые приспособления, обеспечивающие путем их переналадки или перекомпоновки обработку широкой номенклатуры заготовок.

Специальные приспособления целесообразно применять лишь в условиях крупносерийного и массового производства на станках-автоматах, агрегатных станках и автоматических линиях.

1.1. Системы приспособлений для металлорежущих станков

В соответствии со стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) под системой приспособлений понимается совокупность приспособлений, конструкции которых komponуются на базе единых характерных правил, для обеспечения единства выполнения их и использования в определенных организационных условиях технологического процесса изготовления различных деталей методом механической обработки.

Приспособления каждой из систем имеют различные способы агрегатирования составляющих элементов, параметры и другие конструктивные различия, обеспечивающие их эффективность в различных производственных условиях, характеризующихся сочетанием организационных, конструктивных и технологических факторов, присущих оснащаемым операциям.

Отличительными признаками каждой системы приспособлений являются способы их переналадки или перекомпоновки, характеризующие степень их универсальности и степень унификации элементов.

Системы переналаживаемых приспособлений наиболее эффективно применять на станках с ЧПУ. Такие приспособления многократного применения обеспечивают посредством их переналадки (регулирования подвижных элементов, замены сменных наладок или перекомпоновки) установку и закрепление заготовок и инструмента различных типов, формы и сходных по конфигурации различных типоразмеров.

Применение переналаживаемых приспособлений на станках с ЧПУ в мелко- и среднесерийном производстве обеспечивает обработку в одном приспособлении различных заготовок, что резко сокращает количество приспособлений, а следовательно, и затраты на них, поскольку одно переналаживаемое приспособление заменяет значительное число специальных приспособлений, предназначенных для установки и закрепления лишь одних определенных заготовок.

Специальные приспособления целесообразно применять лишь как исключение при невозможности применения переналаживаемых, особенно, когда заготовки не отличаются высоким качеством из-за того, что их малая серийность исключает применение таких способов, как точное литье или штамповка.

По степени универсальности и способу переналадки системы переналаживаемых приспособлений подразделяются на универсально-безналадочные приспособления (УБП); универсально-наладочные приспособления (УНП); специализированные наладочные приспособления (СНП); универсальные сборно-разборные приспособления (УСРП); специальные сборно-разборные приспособления (СРП).

Приспособления системы УБП обеспечивают установку заготовок различных изделий. Конструкции приспособлений системы УБП представляют собой законченные механизмы долговременного действия, с постоянными (несъемными) элементами для установки различных заготовок. Система включает универсальные регулируемые приспособления многократного применения, для которых не требуется проектирование и изготовление дополнительных специальных деталей. Переналадка УБП осуществляется регулированием положения установочно-зажимных элементов. Приспособления системы УБП, к которым относятся кулачковые токарные и сверлильные патроны с ручным приводом, целесообразно применять на токарных и сверлильных станках в условиях единичного производства.

Приспособления системы УНП обеспечивают установку заготовок и инструмента широкой номенклатуры и состоят из универсального базового агрегата и комплекта сменных наладок. Под сменной наладкой понимается самостоятельная часть собранного для эксплуатации приспособления, предназначенная для установки конкретных типоразмеров заготовок и инструмента в базовом агрегате приспособления. Базовый агрегат приспособления — неизменяемый, он предназначен для установки сменных наладок в процессе компоновки конструкций универсально-наладочных приспособлений.

Такие приспособления эффективны при использовании групповых методов обработки. Базовые агрегаты приспособления и некоторые, наиболее часто применяемые, унифицированные сменные наладки должны изготавливаться централизованно. Остальные специальные сменные наладки проектируются и изготавливаются по мере необходимости. Цикл оснащения технологической операции универсально-наладочным приспособлением состоит из установки унифицированной или специальной сменной наладки в базовом агрегате.

Системы УНП для многоцелевых станков с ЧПУ и ГПС включают сменные наладки, в свою очередь komponуемые из комплекта заранее изготовленных универсальных установочных и зажимных элементов. Такие элементы komponуют на базовой части приспособлений — плитах или угольниках.

Приспособления системы СНП обеспечивают базирование и закрепление родственных по конфигурации заготовок различных габаритов с идентичными схемами базирования. Компоновка СНП состоит из конструкции специализированного (по схеме базирования и виду обработки типовых групп обрабатываемых деталей) базового агрегата и сменных наладок. Для системы СНП характерно применение многоместных приспособлений, поэтому эффективной областью применения СНП является групповая обработка в серийном производстве на специализированных агрегатных станках. Цикл оснащения операции специализированным наладочным приспособлением состоит из проектирования, изготовления и установки нескольких сменных наладок в базовом агрегате.

Система УСРП состоит из набора стандартных универсальных деталей и узлов, соединяемых между собой по унифицированным соединительным поверхностям, изготовленным с высокой степенью точности. Из элементов УСРП собирают без дополнительной механической обработки специальные приспособления кратковременного применения. После обработки партии заготовок приспособления из элементов УСРП полностью разбирают на составные детали и узлы, которые вновь многократно используют в различных сочетаниях в новых компоновках.

Элементы УСРП постоянно находятся в обращении в течение срока их службы. УСРП, в отличие от обычных специальных приспособлений, за редким исключением, не требуют конструирования и изготовления деталей и узлов. УСРП целесообразно применять на станках с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства. Цикл оснащения технологической операции приспособлениями системы УСРП состоит из сборки элементов высококвалифицированными специалистами, включая компьютерную подготовку 3-D моделей сборок с целью оптимизации компоновок по критериям точности и жесткости.

Специальные СРП собирают из готовых деталей и узлов как приспособления долгосрочного применения с частичным использованием в компоновках специальных деталей. Базовые поверхности обрабатываемых заготовок в этих случаях могут быть частично доработаны на заготовительном участке для улучшения контакта с базами приспособлений. СРП собирают на весь период производства изделия на станках с ЧПУ, встроенных в ГПС с циклом переналадки на новые изделия порядка 1,5–2 года.

Цикл оснащения операции специальным сборно-разборным приспособлением состоит из проектирования и изготовления специальных деталей и сборки приспособления.

1.2. Базирование заготовок и инструмента в приспособлениях

В процессе обработки заготовки и режущий инструмент должны занимать вполне определенное (однозначное) положение относительно станка, что достигается их установкой в соответствующих узлах станка. Под установкой заготовки или инструмента понимается процесс их базирования и последующего закрепления, то есть приложения к ним сил и моментов закрепления, обеспечивающих в процессе обработки постоянство их положения, достигнутого при базировании.

Положение заготовки или режущего инструмента относительно соответствующего приспособления определяется комплектом баз. *Базой* называется поверхность или сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или инструменту, используемая для базирования, а придание заготовке или инструменту требуемого положения относительно выбранной системы координат называется их базированием.

Комплектом баз называется совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или режущего инструмента. *Технологической базой* назы-

вается база, используемая для определения положения заготовки в процессе изготовления из нее детали.

В соответствии с правилами теоретической механики требуемое положение твердого тела (объекта) относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических связей, лишающих объект трех перемещений вдоль осей X , Y , Z и трех поворотов вокруг этих осей, то есть когда объект становится неподвижным в системе координат X , Y , Z . Каждая опорная точка, то есть точка, символизирующая одну из связей объекта с выбранной системой координат, лишает объект только одной степени свободы. Следовательно, для полного базирования объекта, то есть придания ему вполне определенного (однозначного) положения в приспособлении необходимо и достаточно наличия 6 опорных точек, лишающих закрепляемый объект 6 степеней свободы (так называемое «правило шести точек»).

При большем числе точек базирование будет не однозначным, а неопределенным, так как неизвестно, какими точками заготовка будет контактировать с установочными элементами приспособления. Схема расположения опорных точек на базах заготовки называется *схемой базирования*.

Наиболее распространенные схемы базирования заготовок показаны на рис. 1.1: а) по трем плоским поверхностям; б) по торцу и наружной цилиндрической поверхности; в) по торцу и внутренней цилиндрической поверхности; г) по наружной цилиндрической поверхности и торцу. Также распространены схемы базирования инструмента и заготовок (рис. 1.2): д) по внутренней цилиндрической поверхности и торцу; е) по торцу и коническому отверстию; ж) по центровым гнездам; з) по плоской поверхности и двум наружными цилиндрическими поверхностями.

По количеству степеней свободы, которых лишается заготовка или инструмент, технологические базы подразделяются на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные. База, лишающая заготовку трех степеней свободы, — перемещения вдоль одной из координатных осей и поворота вокруг двух других осей, называется *установочной базой* (точки 1, 2, 3 на рис. 1.1, а–в и на рис. 1.2, е–ж).

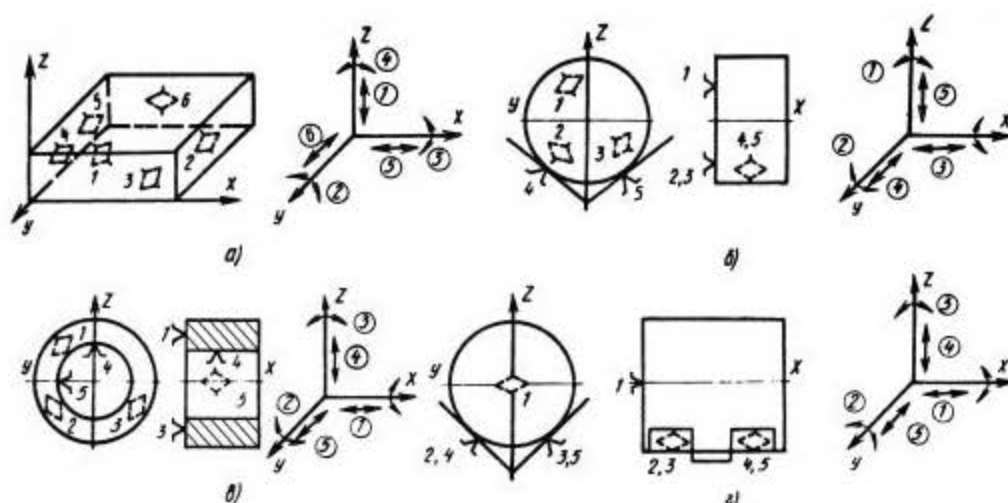


Рис. 1.1. Схемы базирования заготовок

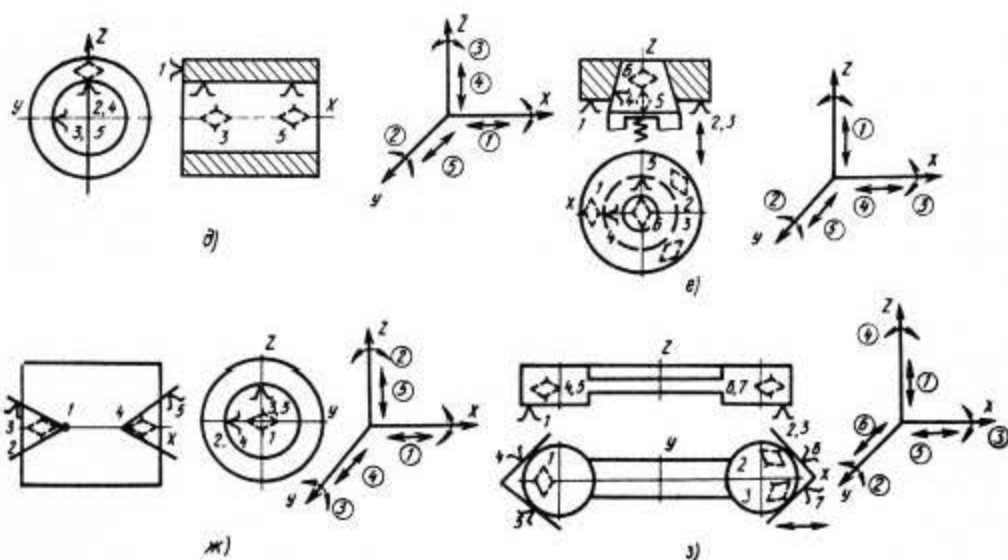


Рис. 1.2. Схемы базирования инструмента и заготовок

База, лишаящая заготовку или инструмент двух степеней свободы, — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси, называется *направляющей базой* (точки 4 и 5 на рис. 1.1, а).

База, лишаящая заготовку одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси, называется *опорной базой* (точка 1 на рис. 1.1, г или точка 6 на рис. 1.1, а). База, лишаящая заготовку четырех степеней свободы, а именно: перемещений вдоль двух координатных осей и вращения вокруг этих осей, называется *двойной направляющей базой* (точки 2, 3, 4, 5 на рис. 1.1, г или на рис. 1.2, д). База, лишаящая заготовку двух степеней свободы, — перемещения вдоль двух координатных осей, называется *двойной опорной базой* (точки 4, 5 на рис. 1.1, б, в; или на рис. 1.2, ж).

При рассмотрении, каких именно степеней свободы лишает заготовку каждая опорная точка, целесообразно эти точки расставить на осях координат по направлениям перемещений вдоль осей и поворотов вокруг них с указанием номера опорной точки (см. рис. 1.1 и 1.2). Так, например, на осях координат рис. 1.1, *а* проставляют следующие точки: перемещению заготовки вдоль оси Y препятствует точка 6, которая и стоит около стрелки, обозначающей перемещение относительно оси Y . Перемещению вдоль оси X препятствуют точки 4 и 5, а перемещению вдоль оси Z — точки 1, 2 и 3, которые и стоят около соответствующих стрелок. Вращению заготовки относительно оси X препятствуют точки 1, 2, 3, относительно оси Y — точки 1, 2, 3 и относительно оси Z — точки 4 и 5, которые и стоят около соответствующих стрелок. Зная, что каждая опорная точка лишает заготовку лишь одной степени свободы, ставят каждую точку только один раз.

Например, точку 1 (см. рис. 1.1, *а*) можем ставить в любом месте, например, у стрелки перемещения вдоль оси Z . Точку 2 можно поставить, например, у стрелки вращения относительно оси Y , а точку 3 — у стрелки вращения относительно оси X . Точка 4 поставлена у стрелки вращения относительно оси Z , а точка 5 — у стрелки перемещения вдоль оси X . Точка 6 встречается только один раз. Точки, лишаящие заготовку или инструмент степеней свободы, для наглядности обведены кружками. Если каждая опорная точка лишает заготовку только одной степени свободы, то схема базирования выполнена правильно.

Необходимо также обратить внимание, что только неподвижная опорная точка, символизирующая одну из связей заготовки или инструмента, лишает их одной степени свободы. Если опора заготовки, например, подпружиненный конический палец, имеет одну или несколько степеней свободы, то число степеней свободы, которых лишается заготовка, будет меньше на число степеней свободы, имеющихся у опоры. В этом случае заготовка лишается всего двух степеней свободы, а не трех, поскольку сам палец имеет одну степень свободы — перемещение вдоль оси Z .

Например, правая призма на рис. 1.2, *з* может контактировать с заготовкой дополнительной точкой 7, то есть при невозможности перемещения вдоль оси X (см. стрелку) эта призма может контактировать с заготовкой любой из двух своих поверхностей. В этом случае будет иметь место неопределенность базирования (7 точек), поскольку не будет соблюдено «правило шести точек».

1.3. Формирование требований к точности и жесткости приспособлений

Системы технологической оснастки можно рассматривать как совокупность типоразмерных рядов систем базирования и закрепления заготовок и систем базирования и закрепления инструмента на станках, обеспечивающих эффективное выполнение технических и экономических требований к изделиям.

Конструктивные воплощения таких систем очень разнообразны. Это определяется условиями рынка сбыта и техническими традициями изготовителя технологической оснастки. При создании этих систем изготовитель стремится быстрее реагировать на спрос, снижать расходы на изготовление за счет увеличения серийности производства, уменьшать расходы на хранение и транспортировку готовой продукции. Спрос рынка в современных условиях возрастает на продукцию, в конструкциях которой заложена: а) гибкость переналадки (обозначаемая также «краткосрочной гибкостью»), связанная с переходом от одного типа изделия к другому в рамках текущей производственной программы, б) гибкость переоснащения («долгосрочная гибкость»), когда необходима замена целиком, производственных систем.

Совмещение интересов рынка и поставщика приспособлений осуществляется внедрением широко известного принципа универсальных наладочных приспособлений [1], разработанного в нашей стране и получившего широкое распространение во всем мире. За рубежом приспособления, разработанные по этому принципу, получили название модульных («*modular*»). Однако лучше использовать отечественную терминологию, регламентированную системой ЕСТПП, что позволяет сохранить преемственность как при традиционном, так и при автоматизированном проектировании.

Например, системы инструмента принципиально строятся по схеме, приведенной на рис. 1.3.

Очевидно, что дифференцирование технологической оснастки на взаимозаменяемые элементарные объемы, как, например, в системах УСП и УНП, находится в объективном противоречии с обеспечением интегральных свойств компоновок этих приспособлений в соответствии с требованиями к качеству обрабатываемых деталей. То же самое противоречие заложено в системах приспособлений СРП, которые строятся по принципу агрегатирования.



Рис. 1.3. Принципиальная схема агрегатированного инструмента

Разрешение этого противоречия требует создания методов проектирования рациональных систем приспособлений, удовлетворяющих как требованиям эффективной эксплуатации металлорежущих технологических систем, так и требованиям серийного изготовления агрегатов и сменных наладок приспособлений.

Создание этих методов базируется на теоретических положениях и изучении комплекса свойств, которыми должно обладать изучаемое приспособление [2, 4, 6, 7].

В условиях автоматизированного производства особое значение имеют те показатели надежности технологических систем, которые определяют качество выпускаемой продукции и которые обусловлены точностью, жесткостью и динамической устойчивостью соединений узлов станков и инструмента.

На рис. 1.4 представлена структурная схема технологической системы (ТС). Для анализа влияния всех параметров процесса на точность обработки важно то, что установка режущего инструмента относительно детали производится путем регулирования на основе результатов измерения. Точность регули-

рования, а затем и точность обработки будут зависеть, следовательно, и от точности этого измерения.

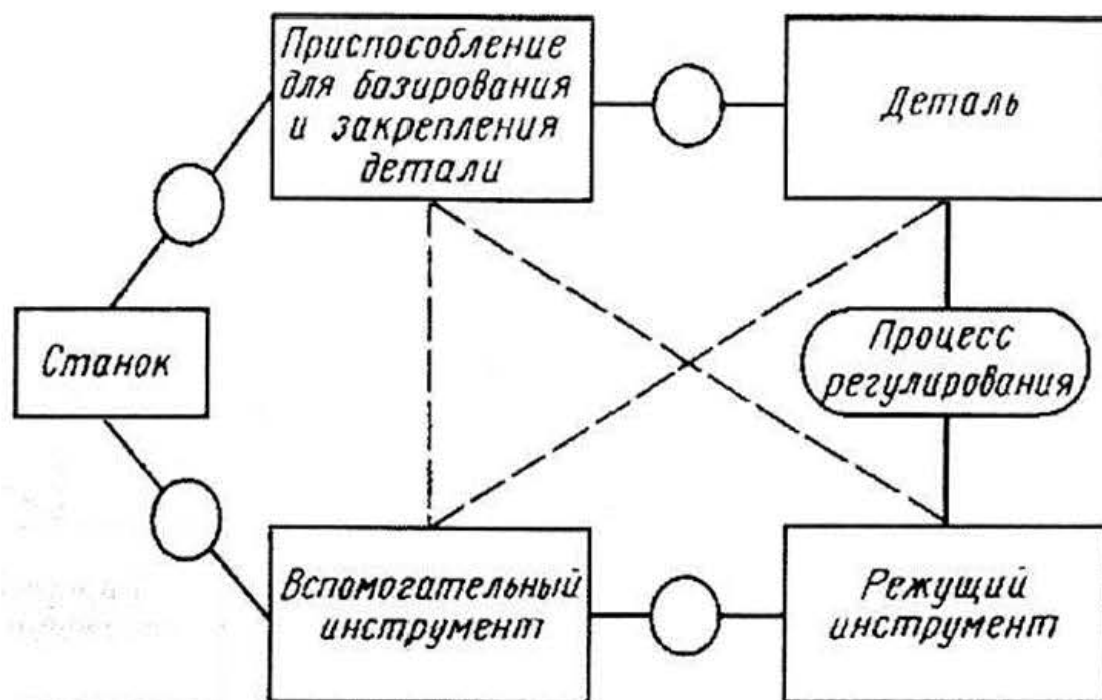


Рис. 1.4. Структурная схема технологической системы

На рисунке 1.5 показана взаимосвязь параметров процесса обеспечения точности обработки в технологической системе. Каждый элемент процесса связан с параметром обработки и отражен перечислением строки (1–6) и столбца (1–14).

Из рисунка 1.5 видно, что существует около 65 потенциальных параметрических зависимостей точности обработки, каждая из которых носит индивидуальный или общий характер.

Большое количество параметров процесса обработки и сложность выделения влияния каждого элемента требуют создания методики, пригодной для использования электронно-вычислительной техники. Для реализации этой работы необходимо располагать статистическими данными, базирующимися на исследованиях взаимосвязи каждого параметра с каждым элементом.

Элемент (подсистема процесса) i		Параметр процесса j													
		Геометрическая точность (погрешность) изготовления	Кинематическая точность (погрешность) изготовления	Упругая деформация (жесткость)	Температурная деформация	Износ	Точность базирования	Точность закрепления	Вибрации	Размеры	Регулирование	Внутренние напряжения	Измерение	Твердость материала	Припуск на обработку
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Станок	●	●	●	●	○	○	○	●		●	●			
2	Приспособление для базирования и закрепления детали	●	○	○	●	○	○	○	○			●			
3	Деталь	●		●	●		●	●	○	●		●	●	●	●
4	Режущий инструмент	●		●	●	●	○	○	●			●	●	●	
5	Вспомогательный инструмент	●	○	●	●	○	●	●	○		○	●		●	
6	Система измерений	●	●	○	●	○	●	●	○	○	●	○	●		

● — точные данные; ○ — данные с большой надежностью; ◐ — данные с малой надежностью.

Рис. 1.5. Взаимосвязь параметров процесса обеспечения заданного качества обработки

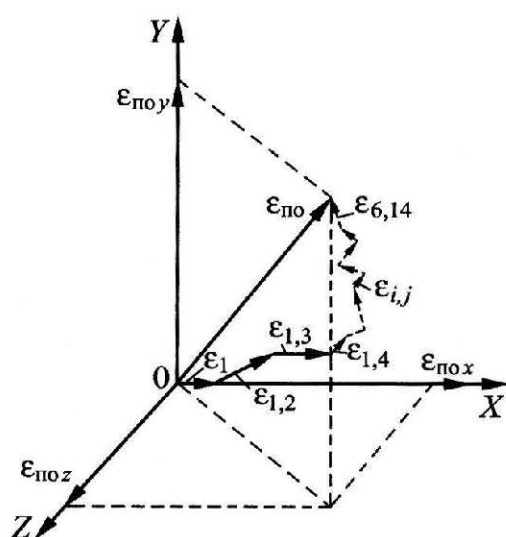


Рис. 1.6. Определение вектора $\vec{\epsilon}_{по}$

Общая погрешность обработки ($\vec{\epsilon}_{по}$) в любой точке пространства технологического процесса рассматривается как пространственный вектор переменного направления — в зависимости от точки контакта между инструментом и деталью (рис. 1.6):

$$\vec{\epsilon}_{по} = \sum_{i=1...6} \sum_{j=1...14} \vec{\epsilon}_{ij} \quad (1.1)$$

или суммы проекции на три оси:

$$\epsilon_{по} = \epsilon_{поx} + \epsilon_{поy} + \epsilon_{поz}, \quad (1.2)$$

где $\epsilon_{поx}$ — общая погрешность обработки в направлении оси X ;

$\epsilon_{поy}$ — общая погрешность обработки в направлении оси Y ;

$\epsilon_{поz}$ — это общая погрешность обработки в направлении оси Z ;

В уравнении (1.1) векторы $\vec{\epsilon}_{ij}$ — соответствуют параметрам, определяющим точность обработки (рис. 1.5).

Эти параметры представлены в виде матрицы:

$$[\varepsilon_{ij}] \equiv \begin{Bmatrix} \varepsilon_{1,1} & \varepsilon_{1,2} & \dots & \varepsilon_{1,14} \\ \varepsilon_{2,1} & \varepsilon_{2,2} & \dots & \varepsilon_{2,14} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{6,1} & \varepsilon_{6,2} & \dots & \varepsilon_{6,14} \end{Bmatrix}, \begin{matrix} i = 1 \dots 6 \\ j = 1 \dots 14 \end{matrix} \quad (1.3)$$

Индексы $i = 1 - 6$ соответствуют графам 1–6 на рис. 1.5, индексы $j = 1 - 14$ — столбцам рис. 1.5.

Для любой технологической системы можно составить три такие матрицы, соответствующие трем осям координат — X, Y, Z :

$$[\varepsilon_{ijx}] \equiv \begin{Bmatrix} \varepsilon_{1,1x} & \varepsilon_{1,2x} & \dots & \varepsilon_{1,14x} \\ \varepsilon_{2,1x} & \varepsilon_{2,2x} & \dots & \varepsilon_{2,14x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{6,1x} & \varepsilon_{6,2x} & \dots & \varepsilon_{6,14x} \end{Bmatrix}, \begin{matrix} i = 1 \dots 6 \\ j = 1 \dots 14 \end{matrix} \quad (1.4)$$

$$[\varepsilon_{ijy}] \equiv \begin{Bmatrix} \varepsilon_{1,1y} & \varepsilon_{1,2y} & \dots & \varepsilon_{1,14y} \\ \varepsilon_{2,1y} & \varepsilon_{2,2y} & \dots & \varepsilon_{2,14y} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{6,1y} & \varepsilon_{6,2y} & \dots & \varepsilon_{6,14y} \end{Bmatrix}, \begin{matrix} i = 1 \dots 6 \\ j = 1 \dots 14 \end{matrix} \quad (1.5)$$

$$[\varepsilon_{ijz}] \equiv \begin{Bmatrix} \varepsilon_{1,1z} & \varepsilon_{1,2z} & \dots & \varepsilon_{1,14z} \\ \varepsilon_{2,1z} & \varepsilon_{2,2z} & \dots & \varepsilon_{2,14z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{6,1z} & \varepsilon_{6,2z} & \dots & \varepsilon_{6,14z} \end{Bmatrix}, \begin{matrix} i = 1 \dots 6 \\ j = 1 \dots 14 \end{matrix} \quad (1.6)$$

Учитывая, что фактически интерес представляет влияние параметров процесса на точность обработки главным образом по одной оси, перпендикулярной к поверхности обработки (например, по оси Y), ниже рассматривается только матрица:

$$[\varepsilon_{ijy}], \begin{matrix} i = 1 \dots 6 \\ j = 1 \dots 14 \end{matrix} \quad (1.7)$$

При этой предпосылке общая погрешность в направлении оси Y в любой точке будет равна:

$$\vec{\varepsilon}_{\text{по}} = \varepsilon_{\text{по}} \vec{i}; \varepsilon_{\text{по}} = \varepsilon_{\text{по}y} \quad (1.8)$$

Значения ε_i, j_y , из матрицы (1.5) могут быть введены в базу данных программы расчета на ЭВМ в виде статистических данных, соответствующих различным конкретным ситуациям.

Общая погрешность обработки в направлении $Y - \varepsilon_{\text{по}_i}$ из выражения (1.2) определяется с помощью матрицы (1.5), укомплектованной конкретными значениями погрешностей ε_i, j_y .

Учитывая характер погрешностей, возникающих в технологических системах, таких как систематические погрешности ($j = 1 - 10$) или случайные ($j = 11 - 14$), необходимо погрешности $\varepsilon_{i,j}$ суммировать в отдельности: алгебраически или геометрически.

С учетом этого уточнения общее выражение для расчета общей погрешности обработки по оси Y можно записать:

$$\varepsilon_{\text{по}_y} = \sum_{\substack{i=1\dots6 \\ j=1\dots10}} \varepsilon_{ij_y} + K_{ij} \sqrt{\sum_{\substack{i=1\dots6 \\ j=11\dots14}} \varepsilon_{ij_y}^2}, \quad (1.9)$$

где K_{ij} — коэффициент асимметрии кривой распределения, соответствующей погрешности ε_{ij} .

Общее выражение (1.9) может быть определенным образом преобразовано либо для выявления какой-нибудь подсистемы, либо для уяснения какого-нибудь явления ТС. Аналогично могут быть составлены уравнения для расчета общих погрешностей обработки в направлении осей X или Z . Из выражения (1.9) видно, что в случае матрицы показателей точности обработки (или погрешностей обработки) метод оперирования (суммирования) соответствует поставленной цели: расчету общей погрешности обработки. Для расчета общей погрешности обработки в любом направлении, необходимо уточнение конкретных условий протекания процесса обработки в технологической системе «станок-приспособление-инструмент», который характеризуется видом обработки, параметрами режима резания и т. д.

Например, для определения влияния на точность обработки параметров, связанных с приспособлениями для закрепления инструмента (обозначение «ВИ» — см выше) на рис. 1.5 необходимо взять те данные, которые показывают, что они могут влиять на точность обработки через показатели $i = 5; j = 1 - 8; j = 10 - 11$, а наиболее вероятным из них является $i = 5; j = 1 - 8$.

Общая погрешность обработки в направлении оси Y , связанная с ВИ, может быть записана в виде:

$$\varepsilon_{\text{по}_y} = \sum_{\substack{i=5 \\ j=1\dots 8}} \varepsilon_{ijy} + K_{ij} \sqrt{\sum_{\substack{i=5 \\ j=10,11}} \varepsilon_{ijy}^2} \quad (1.10)$$

Из выражения (1.10) видно, что основные погрешности обработки, связанные с режущим инструментом (РИ) и ВИ, являются систематическими погрешностями:

$\varepsilon_{5,1}$ — погрешность, связанная с геометрической неточностью РИ и ВИ;

$\varepsilon_{5,3}$ — погрешность, связанная с упругими деформациями РИ и ВИ;

$\varepsilon_{5,4}$ — погрешность, связанная с температурными деформациями РИ и ВИ;

$\varepsilon_{5,5}$ — погрешность, связанная с износом РИ и ВИ;

$\varepsilon_{5,6}$ — погрешность, связанная с погрешностью базирования ВИ относительно станка и РИ относительно ВИ;

$\varepsilon_{5,7}$ — погрешность, связанная погрешностью закрепления ВИ относительно станка и РИ относительно ВИ;

$\varepsilon_{5,8}$ — погрешность, связанная с динамической жесткостью РИ и ВИ и их вибрациями.

Аналогично могут быть выявлены систематические погрешности, связанные с приспособлениями для закрепления заготовок и определяющие погрешности обработки.

Исследования роли приспособлений с точки зрения геометрической точности, кинематической точности, объемной и контактной жесткости, температурной деформации, износа, точности базирования и закрепления, вибраций, регулирования и выбора оптимальных решений в принципе позволяют снизить или полностью ликвидировать погрешности, связанные с приспособлениями для закрепления заготовок и инструмента.

Для расчета размерных цепей, содержащих звенья-зазоры и звенья-биения, целесообразно определять их с учетом полей рассеяния составляющих величин и суммировать их теоретико-вероятностным методом, задаваясь допустимым процентом выхода величины замыкающего звена (биения) за установленные границы [7]. Суммирование угловых ошибок (перекосов осей) и векторных ошибок (параллельных смещений осей) как составляющих звеньев размерных цепей при таком подходе осуществляют путем их приведения к векторному виду в плоскости замыкающего звена (биения) через передаточные отношения.

Для исследования влияния конструктивных и геометрических параметров приспособлений на точность базирования и закрепления заготовок и инстру-

мента и на их деформации в процессе обработки предложена модель компоновки систем базирования и закрепления объектов [7], на которой через $\xi_{x_i}, \xi_{y_i}, \xi_{z_i}$, обозначены малые смещения систем, связанные с i -м углом φ , относительно ее номинального положения вдоль осей X_i, Y_i, Z_i и через $\alpha_i, \theta_i, \gamma_i$ — малые повороты тех же систем вокруг осей X_i, Y_i, Z_i (рис. 1.7, а).

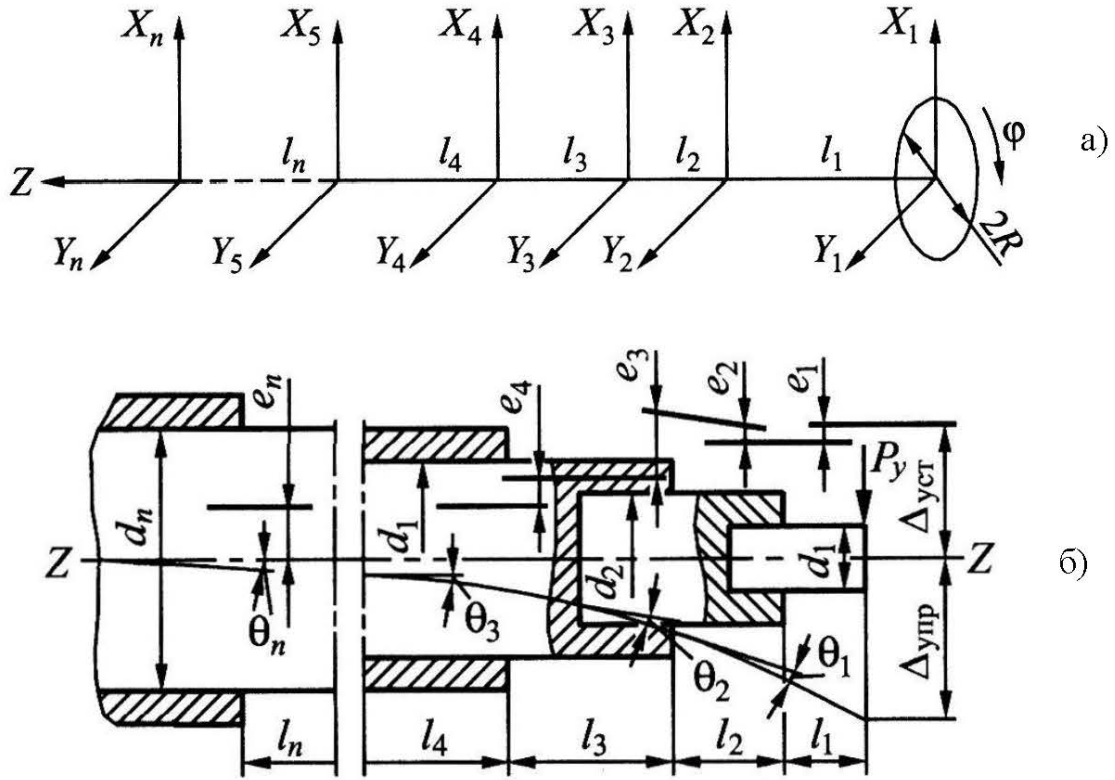


Рис. 1.7. Схема образования отклонений положения закрепляемого объекта:
а) модель компоновки; б) расчетная схема

Приращение ΔR радиуса-вектора точки, заданной вектором R :

$$\Delta \bar{R} = \begin{pmatrix} \xi_{x_i} + \theta_{i_z} + \gamma_{i_y} \\ \xi_{y_i} + \gamma_{i_z} + \alpha_{i_x} \\ \xi_{z_i} + \alpha_{i_y} + \theta_{i_x} \end{pmatrix}; \quad \bar{R} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1.11)$$

Нормальная погрешность Δ_n положения точки на закрепленном объекте в системе X_n, Y_n, Z_n :

$$\Delta_n = (\bar{\Delta}_z + \bar{n}) = (\theta \cos \varphi - \alpha_i \sin \varphi) \sum_{i=1}^n l_i + \sum \xi_{x_i} \cos \varphi + \sum \xi_{y_i} \sin \varphi$$

В качестве источника погрешностей $\alpha_i, \theta_i, \gamma_i$, рассматривается сила резания P_y , расположенная в плоскости оси Z с $\varphi = 0$ и количеством звеньев n .

Источниками погрешностей ξ_{x_i} и ξ_{y_i} является упругая податливость элементов, зависящая от их размеров и формы соединяемых поверхностей.

Например, в процессе установки на станке прутка или концевой фрезы образуется отклонение индексируемой точки на их поверхностях от нормального положения на $\Delta_{уст}$ из-за параллельных смещений и перекосов осей e_i (рис. 1.7, б).

Тогда:

$$\Delta_n = (\bar{\Delta}_z \cdot \bar{n}) = \sum \left(\theta_i \sum_{i=1}^n l_i \cdot \Delta_{уст_i} \right) \quad (1.12)$$

Передаточные отношения A_i для перекосов осей определяются отношением.

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{l_{H_i}} \quad (1.13)$$

где l_i — вылет i -го элемента компоновки приспособления;

l_{H_i} — величина вылета, на котором нормируется величина перекоса в i -м соединении.

Определение влияния параметров приспособления на точность окончательно получаемых размеров деталей при обработке резанием связано с многообразием технологических условий обработки и с необходимостью разработки математической модели влияния параметров приспособления на $\Delta_{упр}$ и $\Delta_{уст}$ в той части, которая определяет размерную точность детали при нелинейной зависимости случайного окончательного размера детали от случайных составляющих. Решение указанной задачи возможно осуществить в два этапа.

На первом этапе анализируются возможные варианты технологических условий обработки, для которых строится математическая модель, предназначенная для расчета точности обрабатываемой поверхности в зависимости от режимов резания, колебаний твердости и припуска заготовок, температурных деформаций, размерного износа режущей части инструмента, точности базирования и жесткости закрепления режущего инструмента.

На втором этапе разрабатывается математическая модель, позволяющая выявлять зависимость точности расположения точки на поверхности детали в зависимости от конструкций и точности изготовления i соединений приспособления, разрабатывается алгоритм расчета, определяются исходные данные и форма их записи в программу расчета на ЭВМ.

В качестве варианта условий ниже рассматривается операция обработки консольной вращающейся однолезвийной расточной оправкой. Для достижения заданного размера и положения оси обрабатываемого отверстия в корпусной детали на расточном станке без применения кондукторных и направляющих устройств используют предварительную настройку положения расточного резца относительно воображаемой оси вращения шпинделя, которая реализуется при базировании конического хвостовика оправки в коническом отверстии шпинделя станка (см. схему базирования на рис. 1.2, *е*).

Если настройка осуществляется непосредственно на станке и устанавливается любое наперед заданное значение среднего диаметра обработанного отверстия, то последующие отклонения диаметров обработки от заданного, (или, соответственно, радиусов обработки) достаточно охарактеризовать дисперсией или среднеквадратичным отклонением, так как при этом систематическое отклонение равно нулю.

В этом случае можно считать, что предъявление специальных требований к точности изготовления приспособления, каким в данном случае является расточная оправка, избыточно. Остается лишь вопрос о выборе требований к жесткости приспособления, а вопрос точности приспособления остается актуальным, только если имеется связь между его жесткостью и точностью.

При настройке положения расточного резца вне станка с ЧПУ с соответствующим отказом от достижения заданного качества обработки методом пробных проходов, обеспечение точности диаметра обрабатываемого отверстия связано с точностью изготовления присоединительных поверхностей приспособления, которые служат для его базирования на станке.

В случае обработки с применением поперечного суппорта с возможностью автоматической коррекции диаметральных размеров общая расчетная модель существенно упрощается за счет сведения к минимуму погрешностей, связанных с износом режущей части инструмента (рис. 1.8).

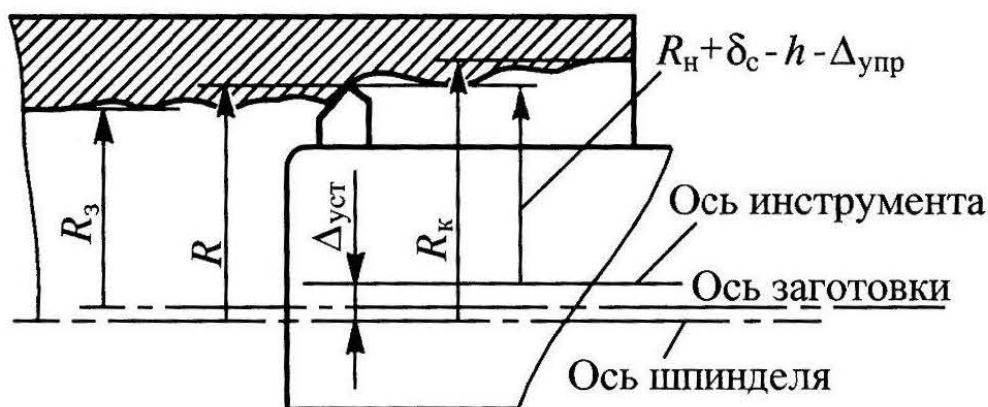


Рис. 1.8. Расчетная схема обработки отверстия расточной оправкой

Для построения расчетной модели (рис. 1.8) примем следующие обозначения:

R_H — начальное настроенное расстояние от вершины режущей части резца до оси расточной оправки (начальный радиус);

$\Delta_{уст}$ — систематическое смещение оси расточной оправки от оси вращения шпинделя, связанное с погрешностью её установки в шпинделе;

δ_c — случайное изменение расстояния от вершины резца до оси вращения шпинделя, связанное с температурными деформациями станка и инструмента;

h — случайное изменение расстояния от вершины резца до оси шпинделя, связанное с износом режущей части;

$\Delta_{упр}$ — случайное изменение расстояния от вершины резца до оси шпинделя, связанное с упругими деформациями оправки и резца;

R — случайная величина фактического расстояния от вершины резца до оси вращения шпинделя в процессе обработки.

В соответствии с введенными обозначениями:

$$R = R_H + \Delta_{уст} + \delta_c - h - \Delta_{упр} \quad (1.14)$$

Если обозначить R_k — случайное значение конечного радиуса отверстия детали после её остывания, а δ_∂ — случайное изменение этого радиуса, связанное с изменением её температуры, то:

$$R_k = R - \delta_\partial \quad (1.15)$$

В формуле (1.14) величина упругих деформаций зависит от величины фактического припуска, твердости заготовки НВ, жесткости расточной оправки в сечении, перпендикулярном оси и проходящем через вершину режущей части

инструмента, а также от таких технологических факторов, как подача на оборот, материалы детали и режущей части инструмента и т.п.

При оценке величины упругих деформаций $\Delta_{\text{упр}}$ можно использовать традиционную эмпирическую формулу для расчета радиальной силы резания:

- при обработке сталей:

$$\Delta_{\text{упр}} = \frac{1}{j} \cdot C \cdot \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^\alpha \cdot t^\beta \quad (1.16)$$

- при обработке чугунов:

$$\Delta_{\text{упр}} = \frac{1}{j} \cdot C \left(\frac{HB}{190} \right) \cdot t^\beta \quad (1.17)$$

где σ_B — предел прочности стали; HB - твердость чугуна.

В приведенных формулах коэффициент C учитывает технологические особенности: режимы резания, материалы заготовки и инструмента, геометрию режущей части инструмента, а коэффициенты α и β определяются только материалами заготовки и инструмента.

Случайное значение припуска t в формулах (1.16) и (1.17) рассчитывается по формуле:

$$t = R_H - \delta_c - h - (R_3 + \delta_\partial) = R_H - \delta_c - h - R_3 - \delta_\partial \quad (1.18)$$

где R_3 — случайное значение радиуса заготовки.

Из формул (1.14) – (1.18):

- при обработке сталей:

$$R_k = R_H + \Delta_{\text{уст}} + \delta_c - h - \delta_\partial - \frac{C}{j} \cdot \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^\alpha \cdot (R_H - \delta_c - h - R_3 - \delta_\partial)^\beta \quad (1.19)$$

- при обработке чугунов:

$$R_k = R_H + \Delta_{\text{уст}} + \delta_c - h - \delta_\partial - \frac{C}{j} \cdot \left(\frac{HB}{190} \right) \cdot (R_H - \delta_c - h - R_3 - \delta_\partial)^\beta \quad (1.20)$$

В уравнениях (1.19) и (1.20) относительно искомой случайной величины R_k , величины $\Delta_{уст}$, δ_c , h , δ_∂ , R_3 , σ_b , $HВ$ не являются случайными величинами, законы распределения которых заранее известны. По известным эмпирическим зависимостям можно оценить их математические ожидания и среднеквадратичные отклонения.

Для оценки изгибной жесткости компоновки расточная оправка-резец используется дифференциальное уравнение упругих перемещений $\Delta_{упр}$ i -го объемного элемента, имеющего характеристику сечения EJ_i постоянную по длине без учета контактных деформаций:

$$EJ'_i \cdot y''_i = -P[L - x] \quad (1.21)$$

где E — модуль упругости материала оправки;

J_i — осевой момент инерции i -го сечения;

y_i — величина, эквивалентная $\Delta_{упр}$

Проинтегрировав дважды уравнение (1.21), получим:

$$\begin{cases} EJ_i \cdot y'_i(x) = -PLx - P\frac{x^2}{2} + C_i \\ EJ_i \cdot y_i(x) = -PL\frac{x^2}{2} - P\frac{x^3}{6} + C_i x + D_i \end{cases} \quad (1.22)$$

где $y'_i(x)$ — суммарный угол поворота i -го сечения, находящегося на расстоянии x от заделки;

$y_i(x)$ — перемещение этого сечения;

C_i и D_i — константы, определяемые из начальных условий.

Для того, чтобы определить полное перемещение сечения, в котором приложена сила P_y , необходимо выявить начальные условия для определения C_i и D_i , а также принять во внимание контактные деформации в стыках, которые вызывают повороты в стыках дополнительно к изгибу.

Такие деформации характеризуются перемещениями в сечении приложения силы P_y из-за поворота в стыках на некий относительный угол под действием момента $M_i = P_y(L - x)$, отнесенные к этому моменту. На рис. 1.7, б такой относительный угол обозначен θ_i . Если через A_i и B_i обозначить, соответственно, координаты левого и правого концов i -го звена компоновки оправка-резец, то в выбранной системе координат:

$$A_i = \sum_{i=1}^n l_i; B_i = \sum_i^n l_i \quad (1.23)$$

В этих координатах начальные условия для определения C_i и D_i следующие:

$$\begin{cases} y'_i(A_i) = y'_{i+1}(B_i) + \theta_i \\ y_i(A_i) = y_{i+1}(B_i) \end{cases} \quad (1.24)$$

Первое из уравнений системы (1.23) показывает приращение к углу поворота i -го сечения в системе (1.22) на величину θ_i . Второе из уравнений (1.24) характеризует непрерывность упругой линии балки.

При $i = n$, $A_n = 0$:

$$\begin{cases} y'_n(0) = \theta_n \\ y_n(0) = y_{n+1}(B_n) \end{cases} \quad (1.25)$$

Последовательность задачи об определении $y_i(L)$, или, что то же самое, $y'_1(B_1)$, сводится к следующему:

1. Из начальных условий уравнения (1.24) и системы уравнений (1.22) определяются константы C_i и D_i .

2. Из системы уравнений (1.22) при $i = n$ по найденным C_i и D_i , определяются $y'_n(B_n)$ и $y_n(B_n)$.

3. Из начальных условий (1.23) и уравнений (1.22) при $i = n - 1$, определяются C_{n-1} и D_{n-1} .

4. Из уравнений (1.22) при $i = n - 1$ по найденным C_{n-1} и D_{n-1} определяются $y'_{n-1}(B_{n-1})$ и $y_{n-1}(B_{n-1})$.

Далее по этому алгоритму производится расчет до тех пор, пока не будут определены $y'_1(B_1)$ и $y_1(B_1)$.

Величина $y_1(B_1)$ означает искомое упругое изгибное перемещение $\Delta_{\text{упр}}$ в сечении приложения силы резания P_y .

Соответственно:

$$j = \frac{P_y}{y_i(B_i)} \quad (1.26)$$

В выражении (1.25) значения величины θ_i должны быть определены экспериментально.

Отклонение $\Delta_{\text{уст}}$ рассматривается как замыкающее звено в сложной размерной цепи, образованной отклонениями линейных и угловых размеров элементов системы «станок–приспособление–инструмент».

Решение уравнения этой цепи теоретико-вероятностным методом, позволяет учесть законы распределения отклонений размеров, сопрягаемых деталей

приспособления, станка и закрепляемого инструмента при их изготовлении, а также учесть случайный характер составляющих погрешностей.

Угловые ошибки составляющих звеньев (перекосы осей) и векторные ошибки (параллельное смещение осей) (см. рис. 1.7, б) суммируются путем приведения перекосов осей к векторному виду в плоскости замыкающего звена e_Σ через передаточные отношения:

$$e_\Sigma = \frac{1}{K_\Sigma} \sqrt{\sum_i^n A_i^2 K_i^2 e_i^2} \quad (1.27)$$

где K_Σ — коэффициент относительного рассеивания замыкающего звена $\Delta_{уст}$;

e_i — перекос (или параллельное смещение) оси в i -ом звене;

K_i — коэффициент относительного рассеивания e_i ;

Коэффициент K_Σ определяется по зависимости:

$$K_\Sigma = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n e_i} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2 e_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \right) \quad (1.28)$$

Для каждого звена величина K_i может быть определена на основании большого количества измерений соответствующих размеров поверхностей.

Расчеты по вышеприведенным формулам позволяют по заданным параметрам технологического процесса и параметрам приспособлений рассчитать дисперсию окончательного размера обработанной детали.

Возможно решение обратной задачи по заданным предельным значениям дисперсии окончательного размера обработанной детали рассчитать параметры $\Delta_{уст}$ и $\Delta_{упр}$, относящиеся к приспособлению. Эти величины, в свою очередь, могут быть дифференцированы на зависящие от конструктивных параметров и зависящие от геометрических параметров.

Далее устанавливается «вес» этих параметров в балансе точности операций с учетом совокупности требований стандартов, требований и условий технологических процессов изготовления обрабатываемых деталей и деталей приспособлений, особенностей установки и закрепления заготовок и инструмента на станке, а также требований к организации участков комплектации приспособлениями производственных участков.

Расчет размеров и допускаемых отклонений базисных агрегатов приспособлений и сменных наладок к ним будет рассмотрен в разделе 6.2 данного учебного пособия.

ГЛАВА 2. ТОЧНОСТЬ ПРИПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

2.1. Особенности базирования и закрепления заготовок на станках с ЧПУ

Базирование заготовки может быть полным и неполным (рис. 2.1). При неполном базировании число опорных точек может быть от трех до пяти. Наименьшее число точек должно быть не менее трех, так как три точки, определяющие плоскость, обеспечивают устойчивое положение заготовки при обработке, две же точки, определяющие ось, не могут обеспечить устойчивого положения заготовки. При неполном базировании приходится применять скрытые базы в виде воображаемой плоскости, оси или точки, мысленно создаваемых для визуальной ориентации заготовки в приспособлении.

Неполное базирование применяют, например, при фрезеровании верхней поверхности заготовки (рис. 2.1, а); при обработке сквозных пазов (рис. 2.1, б). При обработке несквозного паза необходимо применять полное базирование (рис. 2.1, в).

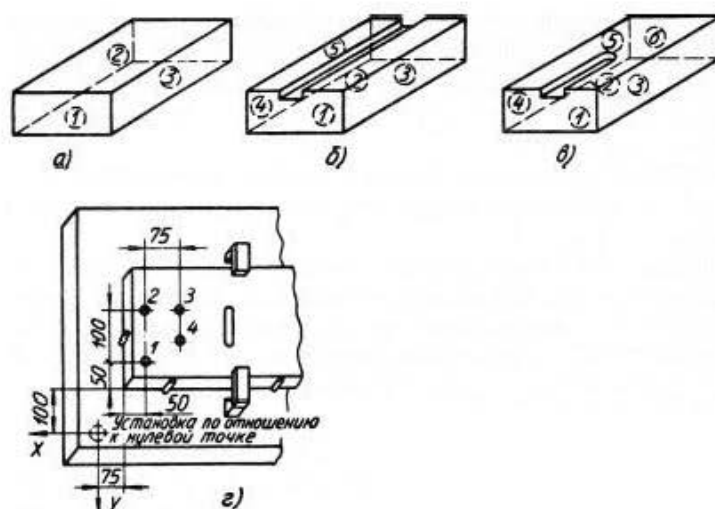


Рис. 2.1. Схемы полного и неполного базирования заготовок

При базировании заготовок на станках с ЧПУ, поскольку относительное перемещение заготовки и инструмента осуществляется автоматически по заданной программе в системе заранее заданных координат, необходимо полное базирование заготовки и жесткая связь базирующих элементов приспособления с началом координат станка (нулевой точкой) (рис. 2.1, г). Расстояние от баз до нулевой точки (размер 75 и 100) должно учитываться при обработке отверстий 1, 2, 3, 4.

При обработке заготовок на станках с ЧПУ приспособления должны исключать ошибки при базировании заготовок, особенно при базировании заготовок в приспособлениях, установленных на спутниках с их автоматической сменой, поскольку обработка осуществляется автоматически.

При базировании заготовок типа тел вращения в патронах или на оправках в качестве двойных опорных или двойных направляющих баз принимают наружные или внутренние цилиндрические поверхности, а также поверхности центровых отверстий (при установке заготовок в центрах).

При базировании заготовок плоских и корпусных деталей в качестве баз применяют в основном три плоских поверхности или одну плоскую поверхность и два отверстия. При базировании заготовок по трем плоским поверхностям «в координатный угол» базирование заготовок осуществляется по установочной базе — плоской поверхности и направляющей и опорным базам заготовки — по двум плоским поверхностям.

Схема базирования заготовок по трем плоским поверхностям является более простой и надежной, обеспечивает высокую точность базирования. Недостатком этой схемы базирования является то, что в ряде случаев невозможно производить обработку заготовок с четырех-пяти сторон или по контуру с одной установки. В этих случаях применяют схему базирования по плоской поверхности и двум отверстиям. Установочной базой является обработанная поверхность, обработанные отверстия являются двойной опорной и опорной базами.

Базовые элементы приспособления выполняют в виде пальцев: цилиндрического и ромбического. При базировании заготовки по плоской поверхности и двум отверстиям неизбежно возникают погрешности базирования в результате неточности обработки технологических отверстий заготовки, неточности изготовления базирующих пальцев и необходимости наличия гарантированного диаметального зазора в соединениях пальцы-отверстия для свободной установки и съема заготовок.

Следовательно, такую схему базирования целесообразно применять лишь при затруднении базирования по трем плоским поверхностям или необходимости обработки поверхностей с одной установки заготовки.

При установке заготовки на столе станка без приспособления для обеспечения ее правильного положения относительно шпинделя станка необходимо производить выверку заготовки по двум боковым поверхностям — направляющей и опорной базам заготовки с помощью контрольной оправки, устанавливаемой в шпиндель станка, и щупов, или по индикатору.

Можно также использовать эталонный угольник с магнитом, устанавливаемый и закрепляемый на обработанной поверхности заготовки, и визирный микроскоп, устанавливаемый в шпиндель станка, обеспечивающий оптическую ориентацию заготовки по риску угольника. При базировании по плоской поверхности и отверстию заготовку выставляют по отверстию с помощью индикаторного центроискателя или с помощью щуповой головки (см. раздел 2.4).

Установка заготовок без приспособлений с выверкой на столе станка требует значительных затрат «времени, в течение которого станок простаивает. Для сокращения времени простоя дорогостоящих станков с ЧПУ необходимо устанавливать заготовки в приспособлениях, поскольку их базирующие элементы автоматически обеспечивают требуемое положение заготовки относительно выбранной системы координат.

Для сокращения времени простоя станков с ЧПУ целесообразно применять приспособления с быстродействующими механизированными приводами зажима. Наиболее эффективно применять два приспособления, что обеспечивает смену заготовок в одном из приспособлений вне рабочей зоны станка или вне станка на спутнике. При этом время простоя станка будет минимальным, так как станок простаивает лишь в течение времени, необходимого для быстрого перемещения стола станка или смены спутника с приспособлением на столе станка (см. главу 4).

2.2. Погрешности установки заготовок в приспособлениях

Точность обработки заготовок на станках с ЧПУ в значительной мере зависит от точности установки заготовок в приспособлениях. При обработке заготовок, установленных в приспособлениях, необходимо, чтобы погрешность Δ обработки была меньше допуска δ на выполняемый на данной операции размер:

$$\Delta < \delta; \delta > \varepsilon_y + \omega, \quad (2.1),$$

где ε_y — погрешность установки; ω — погрешности, возникающие при обработке заготовки (погрешности станка и установки инструмента, износ инструмента, температурные деформации и др.).

Погрешность установки. Одной из основных причин, вызывающих погрешности обработки, является погрешность установки ε_y , возникающая при установке заготовки в приспособлении, то есть отклонение фактически достигнутого положения заготовки от требуемого, возникающее в результате наличия

погрешностей базирования ε_6 и закрепления ε_3 заготовки, а также вследствие погрешности изготовления приспособления и установки его на станке $\varepsilon_{пр}$:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2} \quad (2.2)$$

Все составляющие погрешности установки, в том числе имеющие направленность выполняемого размера, являются полем рассеяния (допуска) случайных величин и, следовательно, могут суммироваться по правилу квадратного корня. Необходимо отметить, что погрешность установки ε_y возникает при установке заготовки в приспособление до обработки, то есть до включения станка.

Погрешностью базирования называется отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от требуемого. При обработке заготовок в приспособлениях на станках с ЧПУ размеры получаются автоматически, при этом положение измерительной базы относительно настроенного на размер инструмента влияет на допуск выдерживаемого размера. *Измерительной базой* называется база, используемая для определения относительного положения заготовки и средств измерения.

Поскольку инструмент настраивается на размер относительно технологических баз приспособления, погрешность базирования представляет собой расстояние между предельными положениями измерительной базы относительно настроенного на размер инструмента. При совмещении технологической и измерительной баз погрешность базирования равна нулю (принцип совмещения баз). Следовательно, для сведения погрешности базирования к нулю необходимо совместить технологическую и измерительную базы. Некоторые схемы базирования заготовок и возникающие при этом погрешности базирования показаны на рис. 2.2.

При выполнении размера h (рис. 2.2, а) установочная и измерительная базы (поверхность A) совмещены. Следовательно, $\varepsilon_{6h} = 0$. При выполнении размера h_1 установочной базой будет поверхность A , а измерительной — поверхность B . Поскольку в этом случае соблюдается принцип единства баз, будет иметь место погрешность базирования, равная разности расстояний между предельными положениями измерительной базы:

$$\varepsilon_{6h1} = h_{\max} - h_{\min} = H_{\max} - H_{\min} = \delta H \quad (2.3)$$

При обработке мерным инструментом (например, пальцевой фрезой) паза шириной b погрешность базирования равна нулю, так как погрешность разме-

ра b зависит только от ширины фрезы и возникает не в процессе установки заготовки, а в процессе обработки.

При обработке наружной цилиндрической поверхности (рис. 2.2, б) погрешность базирования размера D равна нулю, так как в этом случае технологической базой будет центр оправки O и инструмент настраивается от него на размер $D/2$. При установке заготовки по отверстию на оправку с зазором (рис. 2.2, в) погрешность базирования равна максимальному зазору между заготовкой и оправкой:

$$\varepsilon_{bh} = h'' - h' = O_1 O_2 = S_{\max} \quad (2.4)$$

Следовательно, для совмещения технологической и установочной баз необходимо ликвидировать зазор, что достигается применением жестких беззазорных (прессовых или конусных) или разжимных оправок.

При установке цилиндрической заготовки в призму с углом 90° (рис. 2.2, г),

$$\varepsilon_{bh1} = 1.21 \delta D \text{ и } \varepsilon_{bh2} = 0.2 \delta D_1, \quad (2.5)$$

где δ — допуск на размер D .

Следовательно, при обработке отверстия, размер, до центра которого задан от наружной поверхности (рис. 2.2, д), целесообразно устанавливать заготовку таким образом, чтобы отверстие располагалось в нижней зоне. Для сведения к нулю погрешности базирования в этом случае необходимо установить заготовку верхней образующей на плоскую поверхность и поджать снизу призмой (рис. 2.2, е).

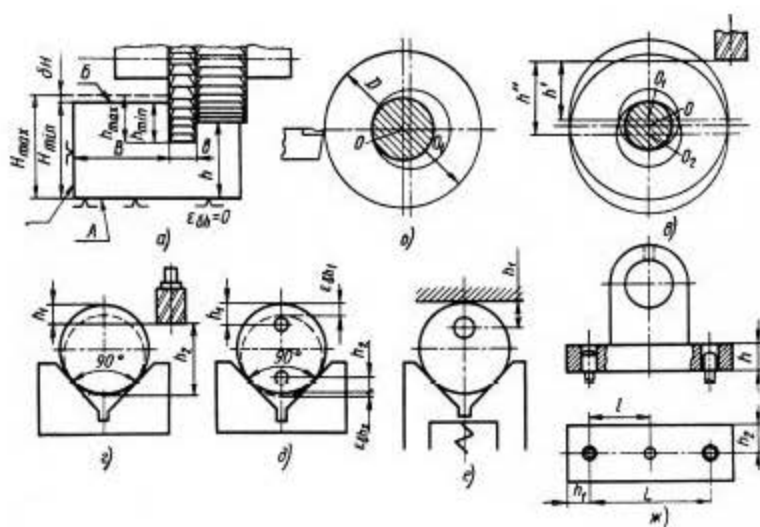


Рис. 2.2. Схемы для определения погрешностей базирования

В этом случае технологическая и измерительная базы при выполнении размера h_1 будут совмещены. При установке заготовки по плоскости и двум отверстиям (рис. 2.2, *ж*) погрешность базирования при выполнении размеров l , h_1 , h_2 будет равна $S_{1\max}$, а при выполнении размера h будет равна нулю. Для сведения к нулю погрешности базирования необходимо ликвидировать зазор, что достигается применением конических подпружиненных пальцев (гладких и срезанных) или разжимных пальцев — цилиндрического и ромбического.

При установке заготовки в центрах погрешность базирования линейного размера от торца заготовки будет равна разности максимальной и минимальной глубины центрального отверстия. Для сведения к нулю погрешности базирования необходимо применять подпружиненный центр, при этом опорной базой будет не центровое гнездо, а торец заготовки.

Погрешность закрепления. Закрепление заготовки, то есть приложение к ней сил или пар сил, обеспечивает постоянство положения заготовки, достигнутого при базировании. При этом возникает погрешность закрепления ε_3 , представляющая собой расстояние между предельным положением измерительной базы относительно настроенного на размер инструмента в результате смещения (осадки) заготовки под действием силы зажима Q , вызывающей деформирование звеньев цепи заготовка — установочные элементы — корпус приспособления. При этом после обработки вместо размера h_1 будет выполнен размер h'_1 (рис. 2.3).

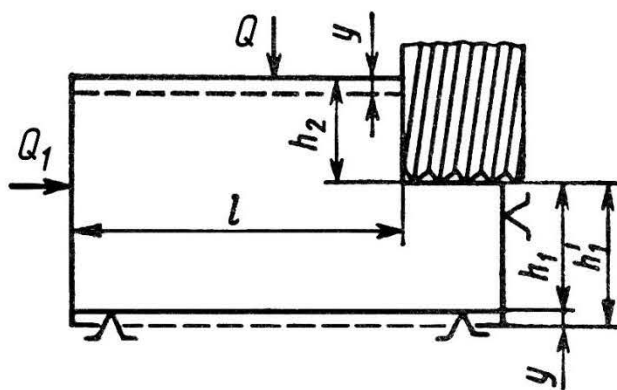


Рис. 2.3. Схема для определения погрешности закрепления

Погрешность закрепления при выполнении размера h_1 :

$$\varepsilon_{3h1} = y; \varepsilon_{3h2} = y; \varepsilon_{3l} = 0 \quad \varepsilon_{3h1} = h'_1 - h_1 = y; \varepsilon_{3h2} = y \quad (2.6)$$

Если сила зажима Q_I направлена параллельно измерительной базе, то $\varepsilon_{zh1} = 0$, поскольку перемещение измерительной базы не влияет на размер h_1 . При закреплении заготовки силой Q : $\varepsilon_{zl} = 0$.

Из всего баланса перемещений измерительной базы под действием силы зажима значение имеет не общая деформация, а контактная деформация в местах контакта заготовки с установочными элементами. Деформации заготовки и корпуса приспособления не являются погрешностью закрепления — это следствие погрешности конструкции приспособления и в расчет не принимаются, так как при правильно сконструированном приспособлении они практически отсутствуют. Контактные деформации в местах стыков корпусных деталей приспособления и контакта установочной поверхности приспособления и стола станка при правильно сконструированном приспособлении очень малы. Зависимости контактных деформаций от материала и качества контактной поверхности — см. [9], а также главу 6 данного пособия.

Величина погрешности закрепления относительно невелика. При установке и закреплении заготовки средних размеров на точечные опоры она не превышает 100 мкм, а при установке чисто обработанной базой на планки — 10 мкм. Для партии заготовок погрешность закрепления можно свести к нулю соответствующей подналадкой станка, если величина погрешности закрепления будет постоянной.

Постоянства погрешности закрепления можно добиться повышением однородности металла и качества поверхности заготовки, а главное, — постоянством силы зажима Q , что достигается применением механизированных приводов (пневматических, гидравлических и др.), обеспечивающих постоянное давление рабочей среды, а следовательно, и силу зажима.

Погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}}$ является следствием неточного изготовления приспособления $\varepsilon_{\text{и}}$, износа его установочных элементов $\varepsilon_{\text{из}}$, а также погрешности установки приспособления на станке $\varepsilon_{\text{у.пр}}$:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{из}}^2 + \varepsilon_{\text{у.пр}}^2} \quad (2.7)$$

Погрешности изготовления приспособлений регламентируются техническими требованиями [5, 7].

2.3. Погрешности установки приспособлений на станках

Основной особенностью установки приспособлений на станках с ЧПУ является необходимость полного базирования приспособлений на столе станка с жесткой связью с началом координат станка, а также быстрая смена приспособлений на станке.

Полное базирование приспособлений на столе станка значительно сокращает подготовительно-заключительное время, связанное со сменой приспособлений, так как исключает необходимость выверки приспособлений на столе станка и упрощает разработку программ обработки заготовок.

Для полного базирования в приспособлениях должны быть предусмотрены базирующие элементы, соответствующие посадочным местам станков и обеспечивающие точное положение приспособлений на столах станков. При наличии на столе станка продольных пазов и центрального поперечного паза приспособление базируется с помощью установочных шпонок 1 или штырей по продольному и поперечному пазам (рис. 2.4, *а*).

Если на столе станка имеются продольные пазы и центральное отверстие, приспособление базируется цилиндрическим штырем 2 по отверстию и штырем 1 по продольному пазу (рис. 2.4, *б*).

При наличии на столе станка только продольных пазов приспособление базируется по пазу посредством двух шпонок. При этом будет иметь место неполное базирование, поскольку приспособление будет лишено лишь пяти степеней свободы. Дополнительное базирование по продольной оси стола может быть осуществлено с помощью упора, установленного на столе станка.

Приспособления можно базировать только по двум плоским поверхностям «в координатный угол» посредством точно изготовленного и выверенного угольника 1, устанавливаемого и закрепляемого в продольных пазах стола станка (рис. 2.4, *в*).

При базировании приспособлений только по продольному пазу установка инструмента 2 в исходную точку обработки может осуществляться по щупу и установкам 1 и 3, закрепленным на корпусе приспособления (рис. 2.4, *г*).

Установку инструмента в исходную точку можно производить также по установочному отверстию или штырю, что, естественно, увеличивает подготовительно-заключительное время, поскольку в шпиндель станка необходимо установить специальную сплошную или полую эталонную оправку, ось которой необходимо совместить с осью отверстия или штыря приспособления.

После этого оправку вынимают и устанавливают в шпиндель станка требуемый инструмент.

При установке приспособления на спутнике 1, к торцам которого прикреплены поперечная 3 и продольная 4 планки с Т-образными пазами (рис. 2.4, б), приспособления 2 базируют по планке 4 и шпонке 5, устанавливаемой на планку.

Базирование приспособления 2 на спутнике по Т-образному пазу посредством шпонок и в продольном направлении посредством мерной планки 3, упирающейся в торцовую планку 4, показано на рис. 2.4, е.

Базирование приспособления 2 на спутнике 1 с сеткой координатно-фиксирующих отверстий посредством трех штырей 3, установленных в отверстиях плиты, показано на рис. 2.4, ж.

Приспособление 2, которое базируется на спутнике 1 с сеткой отверстий посредством мерных планок 5, упирающихся в торцовые планки 3 и 4, показано на рис. 2.4, з. Базирование приспособления 2 на спутнике 1 с Т-образными пазами и отверстиями посредством штыря 3 в отверстии плиты и двух штырей 5, установленных в торцовой планке 4, показано на рис. 2.4, и.

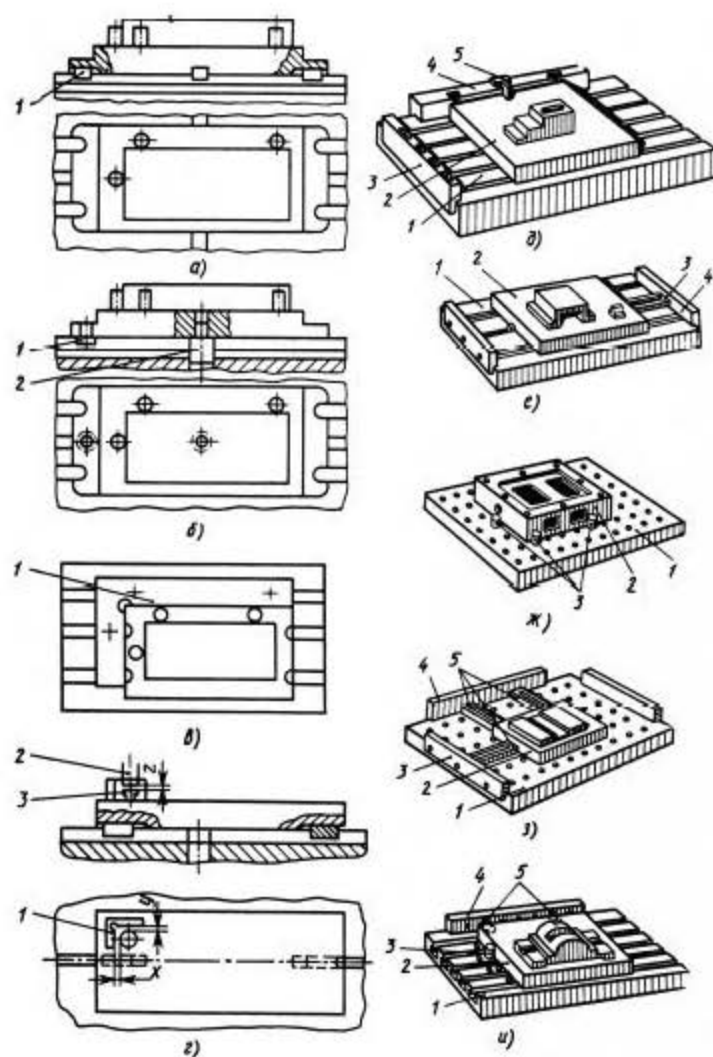


Рис. 2.4. Схемы установки приспособлений на столе станка

При установке приспособлений на станках возникают погрешности установки приспособления $\varepsilon_{у.пр}$, складывающиеся из погрешности базирования приспособления на станке ε_6 , ее погрешности закрепления приспособления ε_3 и погрешности, возникающей от износа элементов для установки приспособления $\varepsilon_{из.э}$:

$$\varepsilon_{у.пр} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{из.э}^2} \quad (2.8)$$

Поскольку в мелкосерийном производстве на станке устанавливают различные приспособления, все погрешности, включая погрешность износа элементов для установки приспособления, представляют собой поля рассеяния случайных величин.

При установке приспособлений на сменных паллетах (см. главу 4) возникает погрешность паллеты $\varepsilon_{п}$ которая включает погрешности изготовления паллеты $\varepsilon_{изг.п}$; погрешности износа поверхности паллеты для базирования приспособлений $\varepsilon_{из.п}$ и погрешности установки паллеты на станке $\varepsilon_{у.п}$:

$$\varepsilon_{п} = \sqrt{\varepsilon_{изг.п}^2 + \varepsilon_{из.п}^2 + \varepsilon_{у.п}^2} \quad (2.9)$$

Погрешность установки паллеты на станке:

$$\varepsilon_{у.п} = \sqrt{\varepsilon_{6.n}^2 + \varepsilon_{3.n}^2 + \varepsilon_{из.п}^2}, \quad (2.10)$$

где $\varepsilon_{6.n}$ — погрешность базирования паллеты на столе станка; $\varepsilon_{3.n}$ — погрешность закрепления паллеты; $\varepsilon_{из.п}$ — погрешность от износа элементов для установки паллеты на станке.

При установке приспособления по продольному и поперечному пазам погрешности базирования приспособления определяются как зазоры между пазом и шпонкой или пазом и штырем. При установке приспособления по отверстию и пазу ее определяется как зазор между штырем и отверстием или между штырем и пазом. Для сведения к нулю ее необходимо беззазорное соединение, что обеспечивается применением конических подпружиненных пальцев или разжимных пальцев.

2.4. Измерение фактического положения заготовки на станке

На многоцелевых станках с ЧПУ и ГПМ распространение получил метод измерения фактического положения заготовки на станке посредством измерительных головок-щупов (рис. 2.5), которые устанавливаются в заданную «нулевую» точку, от которой отсчитываются координаты измеренных величин в системе координат УЧПУ.

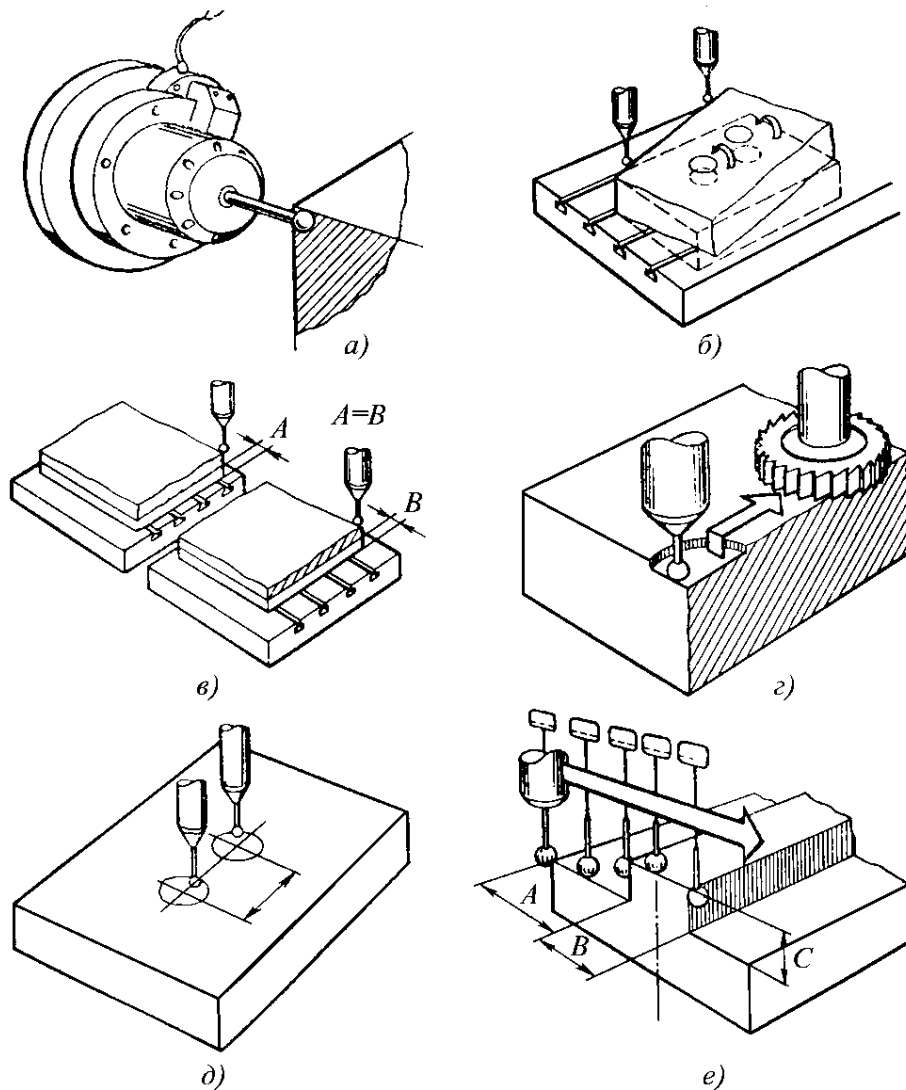


Рис. 2.5. Схемы контроля положения заготовки головкой-щупом:

a — установка головки в «нулевое» положение; *б* — контроль непараллельности стороны заготовки перемещению стола станка и корректировка в процессе обработки; *в* — контроль припуска на обработку; *г* — контроль глубины обработки; *д* — контроль межосевого расстояния; *е* — контроль размеров детали

Наконечник щупа отклоняется под действием силы измерения в любом направлении до 1,5 мм. Обработка данных результатов измерения осуществляется персональным компьютером. Разрешающая способность измерительных головок — до 0,001 мм. Такие трехкоординатные головки (триггерные щупы) аналогичны датчикам, применяемым в трехкоординатных измерительных машинах.

Контроль положения заготовки на станке осуществляется трехкоординатной головкой — щупом, сигнальная система которой связана с системой измерения перемещения. Наличие в системе ПК–ЭВМ позволяет обработать результаты измерений с учетом систематических погрешностей станка.

Трехкоординатная головка-щуп состоит из измерительного шарикового наконечника, измерительной головки и системы передачи сигнала. Сигнальная система головки связана с системой измерения перемещений. Подналадка станка и корректировка программы осуществляются в ходе обработки по результатам измерения.

В хвостовой части головки размещен аккумулятор электропривода осциллятора, который включается автоматически при вводе головки-щупа в шпиндель станка. Головка содержит аналоговую индуктивную измерительную систему и беспроводное устройство, которое передает сигнал, соответствующий измеренной величине по радиоканалу или посредством Bluetooth. При оптической передаче сигнала используется инфракрасное излучение.

Головка передает сигнал, соответствующий измеренной величине, в преобразователь, состоящий из приемника, микропроцессора для переработки входных данных и устройства вывода информации для передачи в систему ЧПУ. На рис. 2.6 показаны автоматические циклы измерения головкой-щупом.

Для выполнения измерений необходимо предусматривать в управляющих программах выделение специальных измерительных циклов. Измерения могут производиться по каждой из координат. Измерительная головка на этих ГПМ хранится в инструментальном магазине и автоматически подается манипулятором в шпиндель станка. Головки-щупы проверяют положение заготовки перед обработкой и между отдельными проходами. По команде УЧПУ измерительный наконечник головки приводится в соприкосновение с поверхностью и перемещением узла станка вдоль одной из координатных осей. В момент соприкосновения шарового наконечника головки выдает импульс (сигнал), по которому УЧПУ фиксирует размер в системе координат станка.

Измерительное задание	Изображение	Измерительное задание	Изображение			
Расстояние в координатном направлении		Плоскость				
Пространственное расстояние (длина)		Круглость				
Расстояние до оси отверстия		Плоскостность				
Центр круга		Параллельность				
Диаметр круга		Угол				
Точка сечения		Перпендикулярность				
Прямая пересечения		Точка пространства				
Прямая		Учитывание шарикового наконечника				
		без учета	+D	-D	+D/2	-D/2

Рис. 2.6. Автоматические циклы измерения деталей головкой-щупом

При превышении размерных и угловых параметров по сравнению с установленными величинами, аналоговая система принимает решение о корректировке положения узлов станка на соответствующее требованиям к обработке.

ГЛАВА 3. КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ИХ ПРИВОДЫ

3.1. Приспособления для станков токарной группы

На станках токарной группы широко применяют универсальные приспособления. Детали типа тел вращения (фланцы, зубчатые колеса, втулки, стаканы, короткие валики и др.) устанавливают в универсальные трехкулачковые самоцентрирующие патроны. Для установки деталей типа валов в центрах применяют передний центр, в том числе плавающий (подпружиненный), и задний, в том числе вращающийся. Передача крутящего момента осуществляется поводковыми патронами: кулачковыми (в том числе с эксцентриковыми кулачками), зубчатыми и штырьковыми.

К патронам для токарных станков с ЧПУ предъявляют следующие основные требования: высокая точность и жесткость, обеспечивающая возможность использования полной мощности станка при черновой обработке; быстрое действие зажима-разжима заготовок; быстрая переналадка кулачков на требуемый диаметр; снижение или даже исключение влияния центробежных сил на уменьшение силы зажима при высоких частотах вращения шпинделя; наличие достаточно большого отверстия для возможности обработки прутковых заготовок; широкая универсальность, обеспечивающая установку заготовок различной формы и размеров; быстрая переналадка на установку заготовок в центрах.

Примером конструкции комбинированного патрона, позволяющего установку заготовок как в патроне, так и в центрах, служит универсально-наладочный патрон, показанный на рис. 3.1.

Патрон предназначен для базирования и закрепления заготовок деталей типа «диск», «вал» при их обработке на токарных станках с ЧПУ.

Патрон состоит из корпуса 7, основных кулачков 1 и наклонных закаленных кулачков 3, сменной вставки 6 с плавающим центром 5 и эксцентриков 2, в кольцевые пазы которых входят шрифты 13. Быстрый зажим и разжим накладных кулачков при переналадке осуществляется тягами 4 при вращении эксцентриков 2.

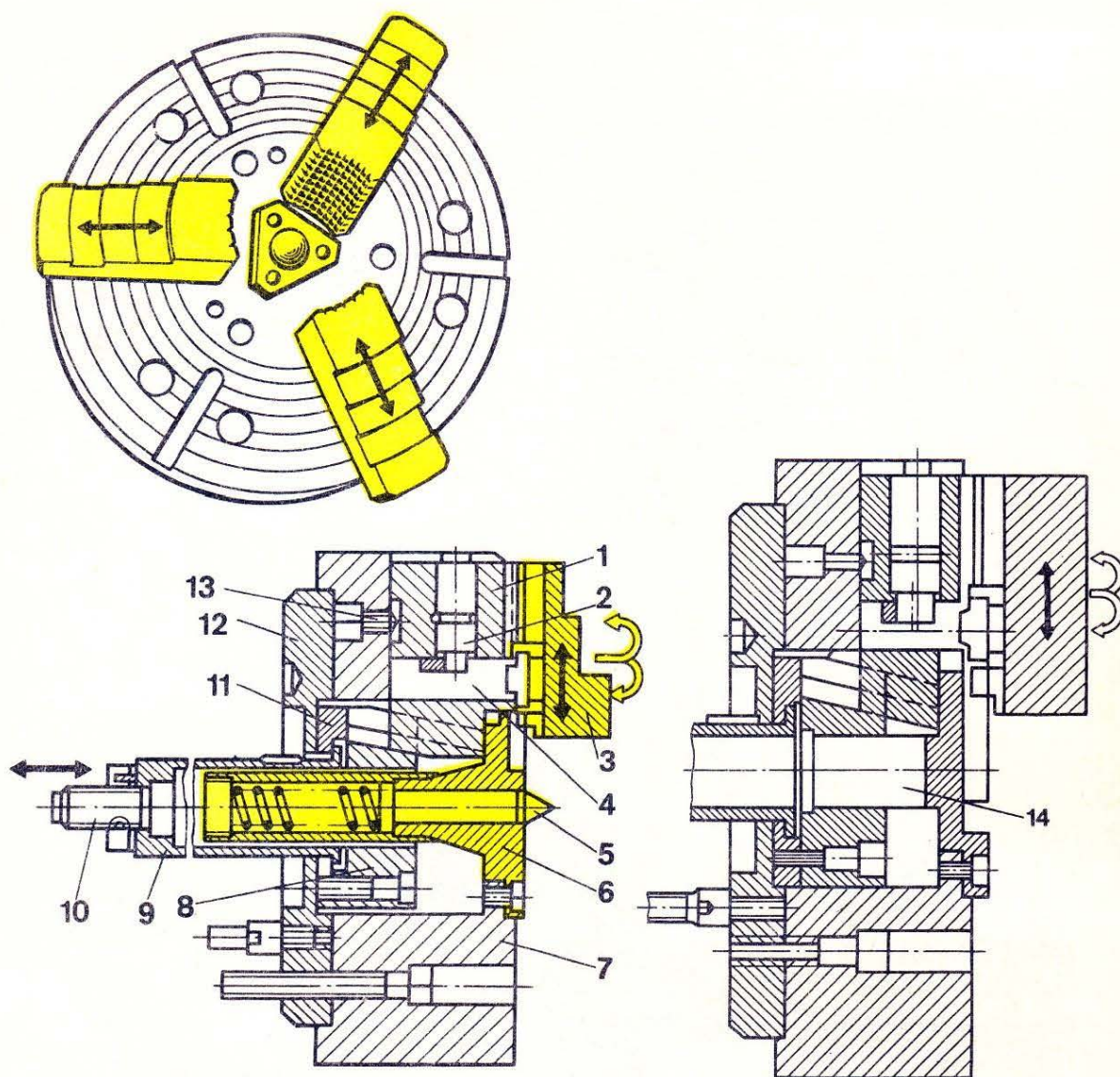


Рис. 3.1. Комбинированный трехкулачковый быстропереналаживаемый универсальный патрон

Для обработки деталей типа «вал» в патрон устанавливают сменную вставку 6 с плавающим центром 5 и выточкой по наружному диаметру. Заготовку устанавливают в центрах (центре 5 и заднем центре станка) и зажимают плавающими кулачками с помощью втулки 8 с клиновыми замками, которая соединена с приводом, установленным на заднем конце шпинделя станка. Разжим осуществляется с помощью фланца 11.

Для выполнения работ в патроне (с самоцентрирующими кулачками) сменную вставку 6 заменяют вставкой 14, которая не имеет выточки по наружному диаметру, благодаря чему обеспечивается самоцентрирование патрона. Патрон крепят на шпиндель станка с помощью фланца 12. Патрон к приводу присоединяют втулкой 9 и винтом 10.

Современные режущие инструменты, оснащенные твердыми сплавами или режущей керамикой, допускают высокую скорость резания. Поэтому современные станки с ЧПУ для увеличения производительности обработки имеют частоты вращения шпинделя до $10\,000\text{ мин}^{-1}$.

Однако с увеличением частоты вращения шпинделя станка увеличивается действие на кулачки центробежных сил, которые уменьшают силу зажима кулачков, что сокращает возможность максимального использования мощности привода станков. Центробежная сила, пропорциональна частоте вращения в квадрате:

$$F_{ц} = MR\omega^2 = \frac{GR\omega^2}{g} = 0.102GR\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 = \frac{MRn^2}{100}, \quad (3.1)$$

где M — масса кулачков, кг; R — расстояние от оси патрона до центра тяжести кулачка, мм; ω — угловая скорость, рад/сек; G — вес кулачков, Н; $g = 9,81\text{ м/сек}^2$ — ускорение свободного падения; n — частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

При частотах вращения шпинделя свыше 2000 мин^{-1} фактической силой зажима заготовки будет не статическая сила $Q_{ст}$, а динамическая сила $Q_{дин}$. Для определения при заданной частоте вращения шпинделя требуемой статической силы зажима необходимо алгебраически суммировать динамическую силу зажима с центробежной силой $F_{ц}$:

$$Q_{ст} = Q_{дин} \pm F_{ц}, \quad (3.2)$$

где знак «+» относится к заготовке, зажимаемой по наружной поверхности кулачков, а знак «−» относится к заготовке, зажимаемой по их внутренней поверхности.

Динамическая сила зажима может быть определена по формуле:

$$Q_{дин} = Q_{ст} \mp F_{ц} \quad (3.3)$$

или

$$Q_{дин} = \frac{1,2kP_z d}{fd_1} \mp \frac{MRn^2}{100}, \quad (3.4)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий влияние осевой P_x и радиальной P_y составляющих силы резания; k — коэффициент надежности, принимаемый 2,5; d — диаметр обработки; d_1 — диаметр заготовки в месте закрепления ее кулачками; f — коэффициент трения между заготовкой и кулачками (при закрепле-

нии остальных заготовок гладкими кулачками $f=0,1\dots0,15$, кулачками с мелкими зубьями $f=0,12\dots0,20$, кулачками с крупными зубьями $f=0,25\dots0,35$).

Предполагая, что $P_x = P_y = 0,25P_z$, где P_z — главная составляющая силы резания:

$$Q_{\text{дин}} = \frac{k}{f} \sqrt{\left(P_z \frac{d}{d_1}\right)^2 + (0,25P_z^2)} \mp \frac{MRn^2}{100} = \frac{k}{f} P_z \sqrt{\left(\frac{d}{d_1}\right)^2 + (0,06)} \mp \frac{MRn^2}{100} \quad (3.5)$$

Допускаемую частоту вращения можно определить по формуле:

$$n_{\text{доп}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{(Q_{\text{ст}} - Q_{\text{дин}}) \frac{1}{\Sigma MR}}, \quad (3.6)$$

где ΣMR — суммарный центробежный момент трехкулачкового патрона.

Если расчетная сила зажима превышает силу зажима, обеспечиваемую конкретным патроном (указанную в его технической характеристике), то нужно либо уменьшить глубину резания и подачу, либо снизить частоту вращения шпинделя, уменьшив тем самым центробежную силу.

Более эффективным является снижение частоты вращения, поскольку из-за квадратичного увеличения центробежной силы влияние ее на допустимую частоту вращения является доминирующим. Лимитирующим числом оборотов патрона считается не абсолютное число оборотов, а то, при котором динамическая сила зажима составляет 1/3 статической.

Принято считать надежной такую частоту вращения патрона, при которой для удержания заготовки стандартными кулачками приходится 30% от максимально достижимой статической силы зажима. Эта частота вращения для стандартных патронов с кулачками, не выступающими за наружный диаметр патрона, указывается в технической характеристике патрона.

Для уменьшения влияния центробежных сил уменьшают массу кулачков, путем изготовления кулачки из деформируемого алюминиевого сплава с твердосплавными или стальными закаленными вставками, контактирующими с зажимаемой заготовкой.

Другим средством уменьшения влияния центробежных сил является использование токарных патронов с устройством уравнивания центробежных сил, которое противодействует возникающим центробежным силам при помощи встроенных в патрон противовесов. При равноплечих рычагах масса противовеса должна быть равна массе кулачка. При равноплечих рычагах масса противовеса может быть уменьшена. Быстроперенастраиваемый патрон с противовесами кулачков показан на рис. 3.2.

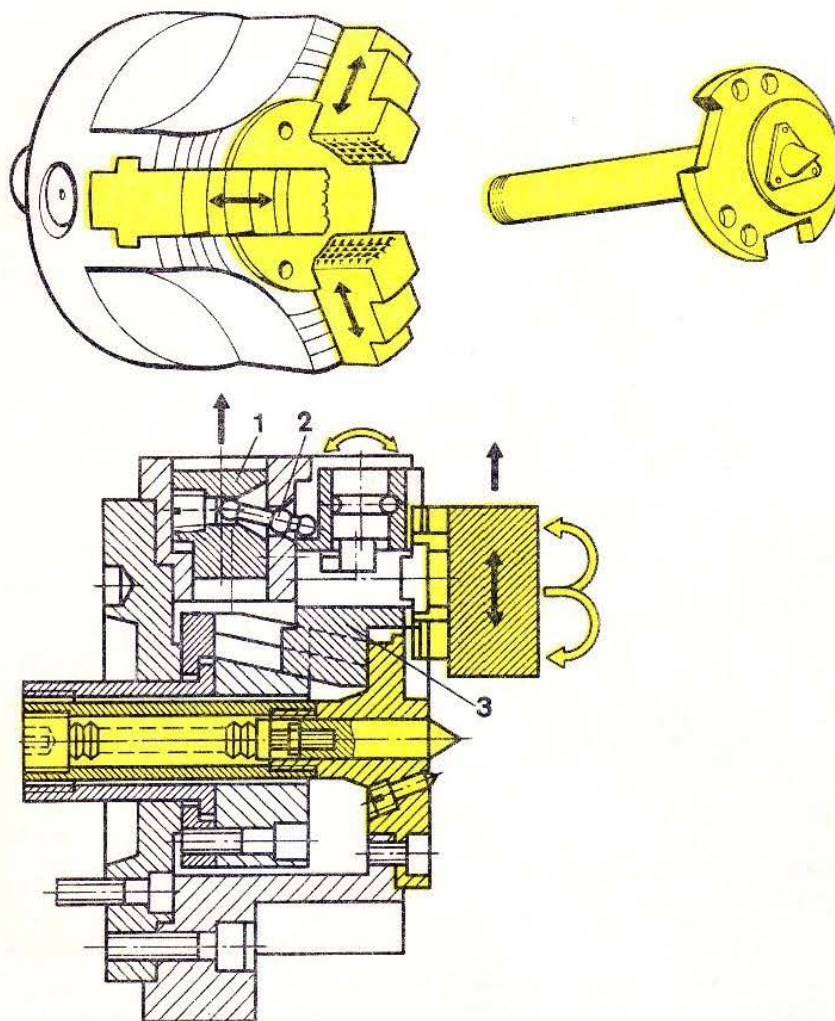


Рис. 3.2. Патрон трехкулачковый клиновой универсальный
с противовесами кулачков

Патрон предназначен для базирования и закрепления заготовок деталей типа «диск» и «вал» при их обработке на токарных станках с ЧПУ с высокой частотой вращения шпинделя станка.

Центробежные силы, действующие на противовесы 1, через рычаги 2 действуют на кулачки 3, компенсируя центробежные силы, действующие на кулачки.

Для обработки деталей типа валов применяют поводковые патроны, которые должны обеспечивать передачу максимального крутящего момента при черновой обработке; возможность обработки заготовки с одной установки; обработку на высоких частотах вращения шпинделя; возможность базирования заготовки по торцу; возможность быстрой переналадки с центровой на патронную обработку.

Для установки валов на токарных станках с ЧПУ применяют несколько способов базирования заготовок и передачи крутящего момента. При первом способе для передачи крутящего момента заготовкам, установленным в центрах станков с ЧПУ, применяют трехкулачковые патроны с самоустанавливающимися кулачками. При этом центрирование заготовок осуществляется передним и задним центрами, а кулачки патрона выполняют плавающими, поэтому они не центрируют заготовку, а являются поводковыми — передающими заготовкам крутящий момент.

При необходимости базирования заготовки по торцу применяют передний подпружиненный (плавающий) центр. Недостатком такого способа является необходимость переустановки заготовки для обработки ее второго конца и регулирования положения кулачков для закрепления обработанного конца заготовки.

Вторым способом передачи крутящего момента при установке заготовок в центрах является применение поводковых патронов с двумя или тремя эксцентриковыми кулачками с рифлениями на рабочей поверхности. В процессе обработки заготовки под действием сил резания кулачки самозатягиваются, передавая заготовке крутящий момент. Чем больше силы резания, тем с большей силой кулачки зажимают заготовку. Недостатком таких поводковых патронов является необходимость переустановки заготовки для обработки второй стороны, а также сложность переналадки с патронных на центровые работы.

Третьим способом передачи крутящего момента заготовкам является применение поводковых патронов с торцовыми самоустанавливающимися зубьями или штырьками (рис. 3.3).

При установке заготовки 1 вращающийся центр 2 задней бабки поджимает заготовку в осевом направлении к центру 3, и штырьки 4 врезаются в торец заготовки на одинаковую величину независимо от величины отклонения перпендикулярности торца заготовки относительно ее оси. Надежность и долговечность штырьковых патронов определяются материалом штырьков и подшипниками вращающегося центра, устанавливаемого в пиноли задней бабки, поскольку при поджиме заготовки к штырькам для их врезания в торец заготовки возникает значительная осевая нагрузка на подшипники вращающегося центра. Штырьки должны иметь высокую поверхностную твердость, но одновременно их сердцевина должна быть достаточно вязкой, что достигается цементацией стальных заготовок штырьков из стали 18ХГТ с последующей закалкой до твердости HRC₃ 48–52. Качество врезания штырьков в торец заготовки обеспечивается соответствующей их заточкой.

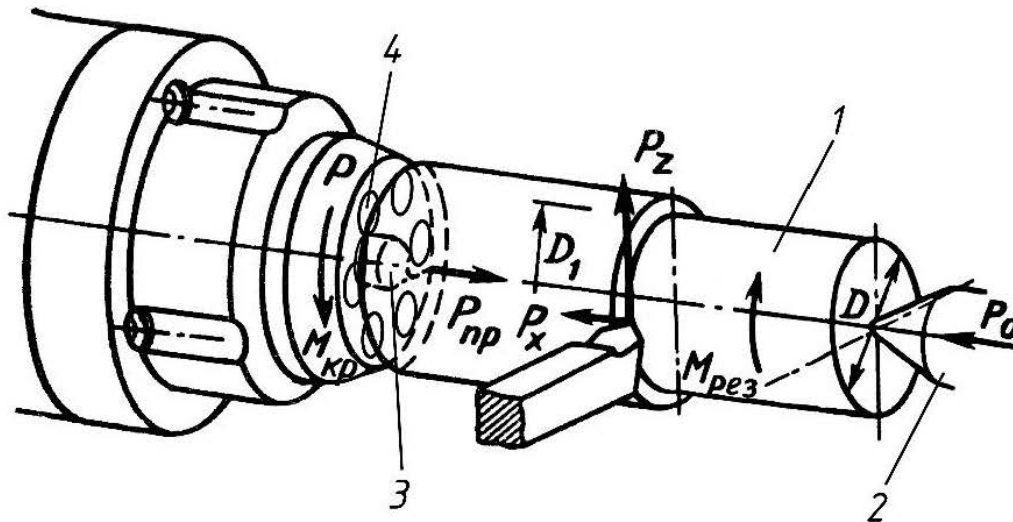


Рис. 3.3. Схема сил, действующих на заготовку, закрепленную в штырьковом патроне

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый штырьками, должен быть больше момента резания $M_{рез} = M_p$ (рис. 3.3):

$$M_{кр} > M_p; \quad M_p = P_z \frac{D}{2}, \quad (3.7)$$

где P_z — главная составляющая силы резания; D — диаметр обработки;

$$M_{кр} = mP \frac{D_1}{2} \quad (3.8)$$

$$P = mP_{окр}, \quad (3.9)$$

где m — число штырьков; $P_{окр}$ — окружная сила, передаваемая одним штырьком; D_1 — диаметр окружности центров штырьков; P — общая окружная сила. Осевая сила P_l , действующая на один штырек, определяется из общей осевой силы P_0 :

$$P_l = P_0 / m.$$

Общая осевая сила P_0 алгебраически суммируется из силы, создаваемой задним центром P_0 , силы пружины плавающего центра P_{np} и осевой составляющей силы резания P_x :

$$P_0 = P'_0 + P_x - P_{np}; \quad P_{np} = cl, \quad (3.10)$$

где c — жесткость пружины; l — длина хода пружины. Окружная сила, передаваемая одним штырьком:

$$P = kP^a$$

где при обработке стальных заготовок $k = 0,63–0,89$; $a = 1,1$.

Перед обработкой поводковые штырьки должны вдавливаться в заготовку на 0,2 мм под действием осевой силы вращающегося центра пиноли задней бабки. Сила, приходящаяся на 1 мм длины контакта штырька с заготовкой, является важным фактором, поскольку небольшая осевая сила уменьшает передаваемый штырьками крутящий момент, а чрезмерная сила приводит к интенсивному изнашиванию и уменьшает долговечность штырьков и подшипников вращающегося центра.

Оптимальный эффект достигается при осевой силе P_0 от 250 до 350 Н на 1 мм длины контакта штырьков с заготовкой. После обработки глубина вдавливания штырьков может достигать 0,8 мм.

Поводковые штырьки выполняются с асимметричной заточкой для правого или левого вращения и симметричной для случаев, когда направление вращения изменяется в процессе обработки. Наименьший наружный диаметр заготовки примерно равен наружному диаметру D_1 окружности приводных штырьков, а наибольший наружный диаметр заготовки может быть в 2–3 раза больше наружного диаметра D_1 расположения штырьков (приводного диаметра).

Приводной диаметр должен выбираться по возможности большим по отношению к обработанному диаметру D заготовки. При значительной осевой нагрузке силой P_0 вращающегося центра (что обеспечивает передачу больших крутящих моментов штырьковыми поводковыми патронами) применяют центры с гидростатическим подпятником.

В токарных станках с ЧПУ применяют пневматические, гидравлические и электромеханические приводы патронов. Они должны обеспечивать: а) короткое время зажима-разжима заготовки; б) регулирование силы зажима для возможности на одних и тех же станках с ЧПУ производить черновую и чистовую обработку; в) достаточную силу зажима для передачи требуемого крутящего момента; г) поддержание рабочего давления воздуха или масла даже в случае аварийного отключения источника энергии (давления) в сети.

Надежность и безопасность работы кулачковых патронов, особенно вращающихся с высокой частотой, существенно могут быть повышены при согласовании систем управления патронами и станками. При этом должны быть реа-

лизованы следующие требования: а) шпиндель станка должен включаться лишь после подачи давления в цилиндр; б) шпиндель станка должен включаться при перемещении кулачков только в заданном диапазоне и после закрытия рабочей зоны станка; в) доступ в рабочую зону станка должен быть открыт только при невращающемся шпинделе; г) заготовка должна раскрепляться только после остановки шпинделя; д) при внезапном прекращении подачи энергии заготовка должна оставаться надежно закрепленной, одновременно должен быть подан сигнал для автоматического отключения привода шпинделя станка.

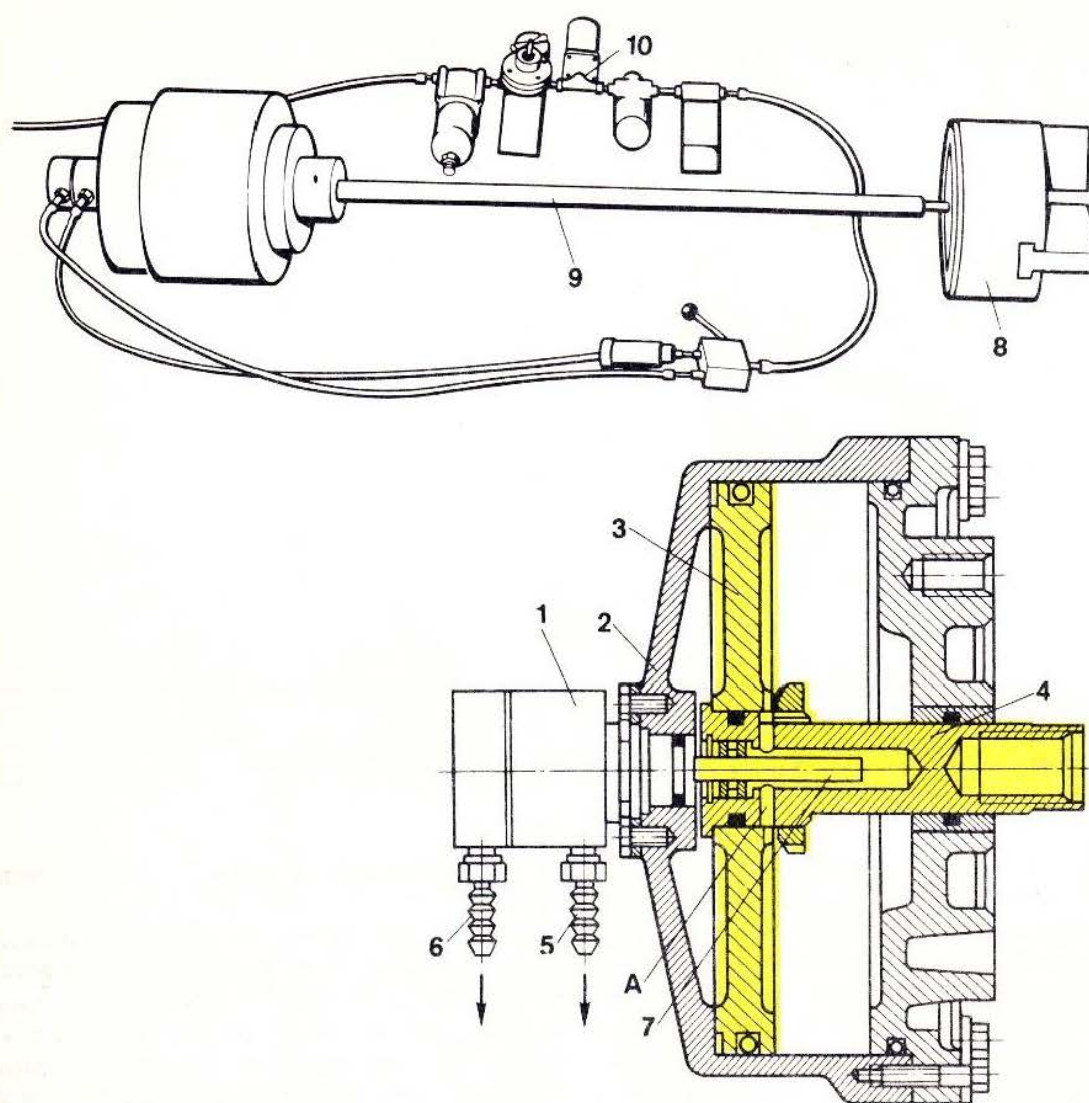


Рис. 3.4. Пневматический вращающийся цилиндр

Пневматический вращающийся цилиндр (рис. 3.4) состоит из двух основных частей: воздухопроводящей муфты 1 и цилиндра 2, устанавливаемого на заднем конце шпинделя станка. Для присоединения тяги 8 патрона предназначено резьбовое отверстие на выступающем конце штока 4. Воздухоподводящая

муфта присоединяется к цилиндру через фланец с помощью винтов. Сжатый воздух подается через ниппель 6, центральное отверстие в стержне 7, и отверстия А в штоке 4 в правую полость цилиндра. Под действием давления 0,4–0,6 МПа воздуха поршень 3 перемещается влево, создавая на штоке 4 тянущую силу зажима. Через ниппель 5, радиальные отверстия и скосы в стержне 7 сжатый воздух подается в левую полость цилиндра, поршень перемещается вправо, создавая на штоке толкающую силу.

Соединение патрона 8 со штоком 4 пневмоцилиндра осуществляется тягой 9. Пневмоаппаратура 10 выносится на отдельную панель станка.

Электромеханический привод токарных патронов показан на рис. 3.5.

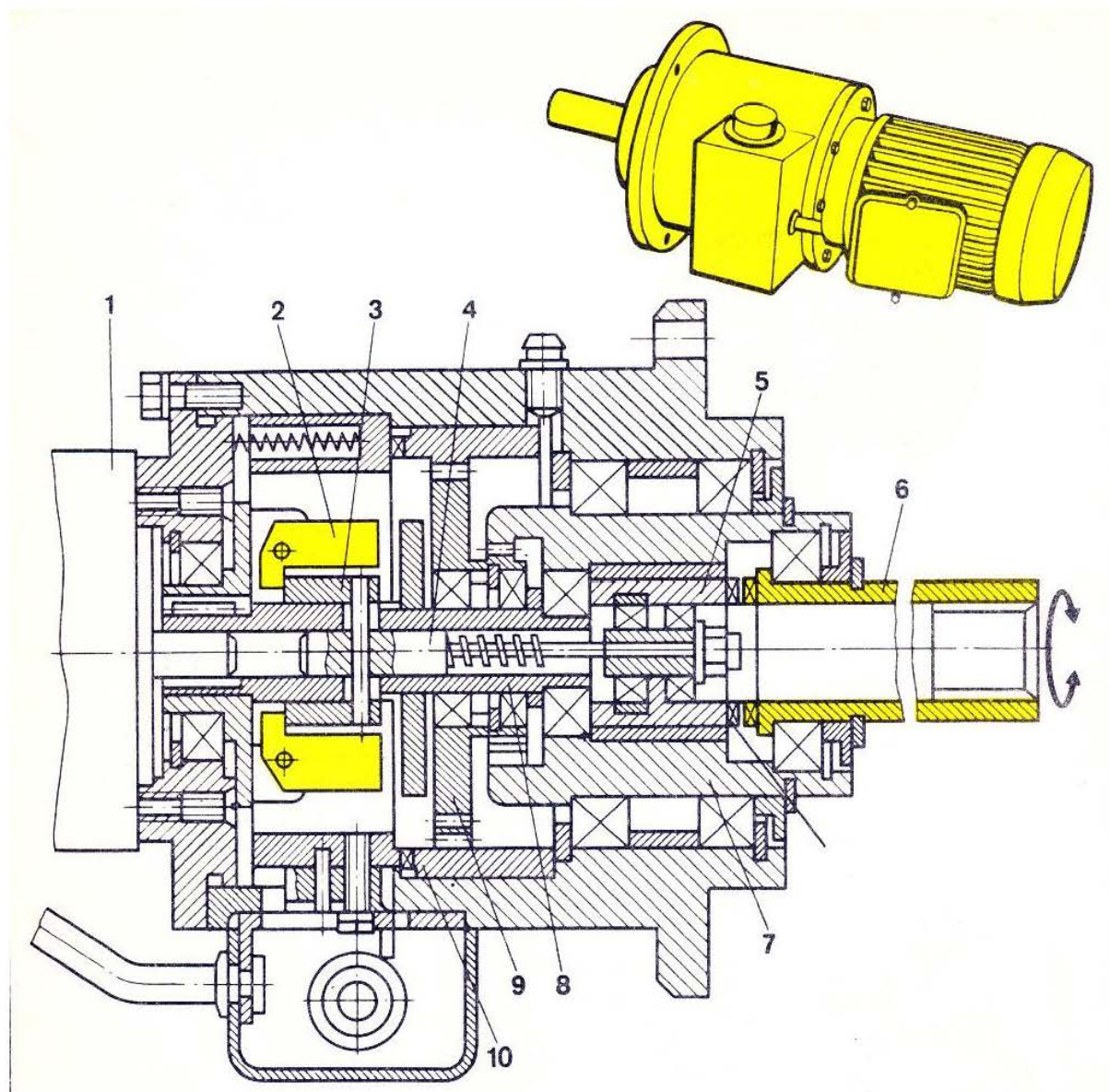


Рис. 3.5. Электромеханический привод

При включении асинхронного электродвигателя 1 рычаги 2 под действием центробежных сил поворачиваются вокруг осей и заплечиками перемещают втулку 3 в осевом направлении. Последняя посредством штифта перемещает шток 4 и смонтированную на его конце в подшипниках муфту 5, которая при помощи кулачков входит в зацепление со шлицевым валиком 6. Вращательное движение от электродвигателя передается муфте 5 через эксцентриковый валик 8, планетарный механизм 10 шестерни 9 и шлицевое соединение шестерни 7. Кулачками (на рис. 3.5 не показаны), введенными в зацепление, передается вращение выходному шлицевому валу, который посредством шлицев соединяется с исполнительным механизмом патрона. Сила тяги — 25 000 Н, время зажима — 5 с.

3.2. Универсально-наладочные приспособления для станков общего назначения

Универсально-наладочные приспособления широко применяют на фрезерных, сверлильных и многоцелевых станках с ЧПУ в мелко- и среднесерийном производстве. К таким приспособлениям предъявляют следующие основные требования: а) высокая точность и жесткость; б) полное базирование заготовок

в приспособлениях и связь с нулевой точкой станка; в) полное базирование приспособлений на станке; г) возможность обработки максимального числа поверхностей с одной установки заготовки; д) быстрая переналадка приспособлений; механизация зажима-разжима заготовок.

На фрезерных и сверлильных станках с ЧПУ применяют универсально-наладочные тиски с упорами для полного базирования заготовок плоских деталей, а также (при наличии сменных губок) деталей типа тел вращения. При установке на столе станка двух тисков возможно осуществить челночный метод обработки: пока идет обработка заготовки в первых тисках, во вторых тисках производят смену заготовки. В универсально-наладочных тисках можно устанавливать более широкую номенклатуру заготовок, чем в универсальных за счет установки заготовок в сменных наладках, устанавливаемых на губках или направляющих подвижной губки тисков.

Универсально-наладочные тиски (рис. 3.6) с пружинно-гидравлическим зажимом состоят из корпуса 1 с неподвижной губкой 3, в расточке которого установлен поршень. Пакет тарельчатых пружин 2 воздействует на бурт винта 5, передавая силу зажима подвижной губке 4, закрепляющей обрабатываемую заготовку. Разжим заготовки и отвод подвижной губки осуществляется гидроцилиндром.

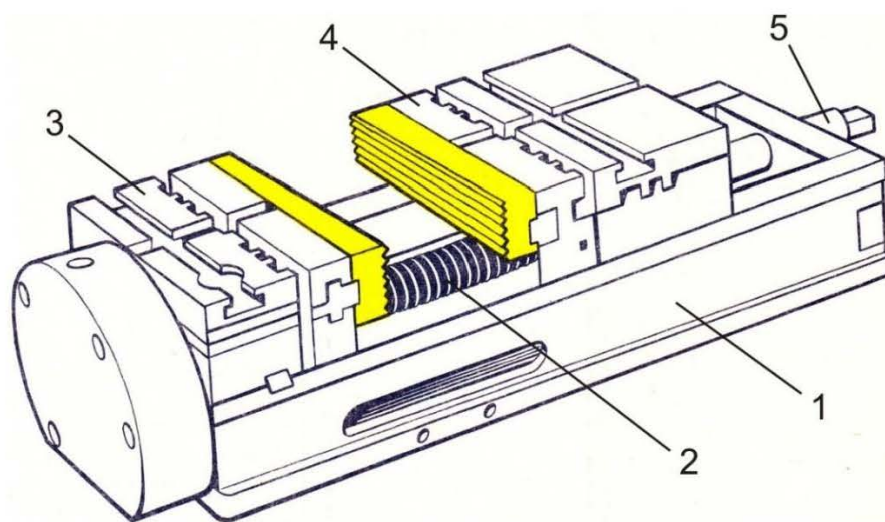


Рис. 3.6. Тиски универсально-наладочные

Под действием давления масла поршень перемещается вправо, сжимая пакет тарельчатых пружин 2. При этом перемещается губка 4, освобождая заготовку. На верхних и боковых сторонах губок 3 и 4 тисков выполнены Т-образные пазы, предназначенные для установки сменных наладок. Тиски комплектуются регулируемым упором, установленным в губке 4, предназначенным для полного базирования заготовок в тисках. Регулирование расстояния между губками осуществляется вращением винта 5 посредством рукоятки, надеваемой на квадратный конец винта.

На станках с ЧПУ фрезерной и сверлильно-расточной групп применяют универсально-наладочные приспособления, базовой частью которых являются накладные плиты, в большинстве случаев жестко закрепляемые на столах станков. Сменные наладки, базирующие и зажимные элементы и сборочные единицы устанавливают и закрепляют на накладных плитах.

Базовые накладные плиты выполняют с пазами, с сеткой пазов, с сеткой резьбовых отверстий, с сеткой пазов и цилиндрических отверстий, с пазами и сеткой цилиндрических отверстий, с сеткой чередующихся цилиндрических и резьбовых отверстий, с сеткой ступенчатых отверстий, верхняя часть которых выполнена гладкой цилиндрической, а нижняя — резьбовой. Цилиндрические гладкие отверстия используют для базирования установочных элементов, а пазы — для крепления установочных и зажимных элементов.

Комплект универсально-наладочных приспособлений (рис. 3.7) состоит из унифицированных базовых плит 1 и устанавливаемых на них угольников 2 с точно расположенной сеткой координатно-фиксирующих отверстий (с шагом $50 \pm 0,015$ мм), верхняя часть которых выполнена цилиндрической (диаметром 25H7), а нижняя — резьбовой (M20).

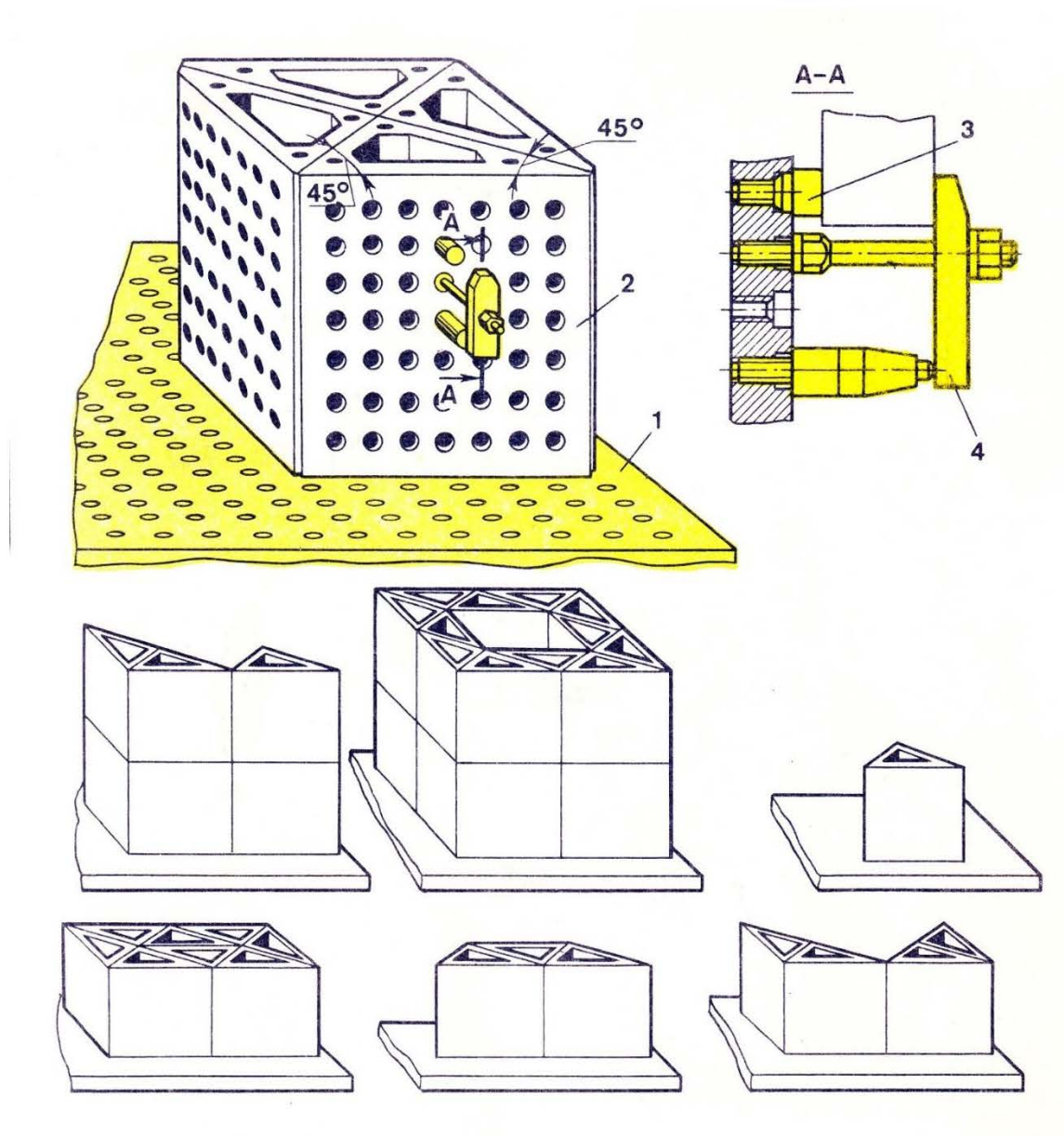


Рис. 3.7. Комплект универсально-наладочных приспособлений

Наличие комплекта различных установочных 3 и зажимных 4 элементов обеспечивают возможность сборки широкой номенклатуры приспособлений, в том числе многоместных. Варианты использования угольников 2 показаны на рис. 3.7.

Приспособления могут быть установлены как на столе станка, так и на спутниках. В карте наладки указывается рабочее положение заготовки, а также места установки базирующих и крепежных элементов в соответствии с буквенно-цифровой индикацией отверстий плиты или угольника. Карта наладки передается на участок компоновки приспособлений, где компонуются приспособления. После обработки партии заготовок приспособление передается на участок разборки для последующего использования.

Применение системы столов-спутников обеспечивает: а) возможность разработки программы технологического процесса обработки для широкой номенклатуры заготовок; б) сокращение времени и расходов на проектирование и изготовление приспособлений; в) повышение производительности труда рабочих при компоновке приспособлений; г) использование рабочих более низкой квалификации вследствие упрощения компоновки; д) высокую точность базирования заготовок и ее ориентацию относительно начала координат станка (нулевой точки).

Разработка программы технологического процесса с использованием технических данных комплекта столов-спутников и чертежа детали сокращают время технологической подготовки производства. Недостатком системы является ручное закрепление заготовок посредством гаек и ключа.

3.3. Универсально-наладочные приспособления для станков с ЧПУ

Комплект элементов системы УНП (рис. 3.8), из которых komponуют приспособления для установки заготовок корпусных деталей при обработке их на станках с ЧПУ, состоит из базовой части и сменных наладок.

Базовой частью приспособлений являются универсальные базовые плиты и угольники 2 (рис. 3.8) с сеткой Т-образных пазов и координатно-фиксирующих отверстий, имеющих цифровые обозначения. Плиты и угольники изготавливаются из высокопрочного чугуна. Закаленные стальные втулки с точными координатно-фиксирующими отверстиями запрессовывают в подготовленные отверстия плит и угольников.

Базирующие элементы представлены в трех исполнениях: 1) переходные плиты с сеткой координатно-фиксирующих отверстий (КФО); 2) прямоугольные опоры с размерами, по высоте кратными 25 мм, и двумя КФО; 3) опоры с постоянной высотой, двумя КФО и переставным упором, устанавливаемым на верхней плоской поверхности.

Комплект 1 сменных установочных и зажимных элементов komponуют на базовых плитах 3 и угольниках 2. Элементы базируют по координатно-фиксирующим отверстиям диаметром 12, 16 или 20 мм и закрепляют болтами, устанавливаемыми в Т-образных пазах шириной 14, 18 или 22 мм плиты или угольника. Точное расположение заготовок относительно начала отсчета координат станка достигается наличием сетки координатно-фиксирующих отверстий. При использовании гидравлических зажимных устройств шланги от источника давления присоединяют к штуцерам 4.

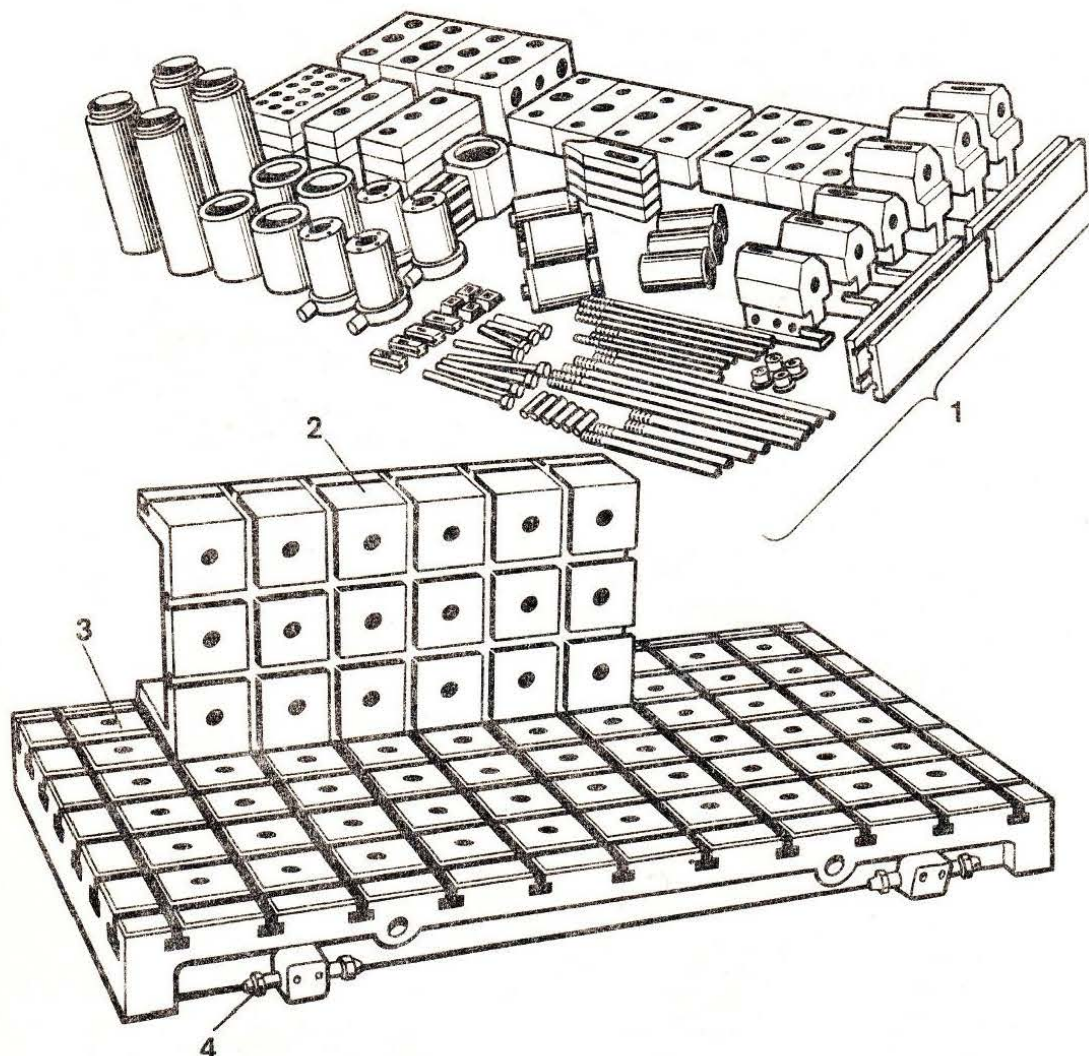


Рис. 3.8. Система универсально-наладочных приспособлений

В комплект зажимных элементов входят: а) кулачковые зажимы, являющиеся одновременно опорами; б) зажимы для закрепления заготовок сверху ручные и с гидроцилиндром двустороннего действия; в) зажимы для закрепления заготовок сбоку ручные и с гидроцилиндром.

Компоновка и закрепление установочных и зажимных элементов на базовых плитах осуществляется посредством винтов и сухарей через Т-образные пазы. При установке базовых плит на поворотных столах многоцелевых станков подвод масла к гидроцилиндрам зажимных устройств осуществляется через неподвижную ось стола станка. Базовые плиты жестко закрепляются на столе станка, и перекомпоновка приспособлений производится только во время остановки станка.

При переходе на обработку новой партии заготовок среднее время переконфигурации длится 3–4 часа, что обуславливает значительные простои дорогостоящих многоцелевых станков. Поэтому эту систему целесообразно применять только в условиях серийного и крупносерийного производства.

Для многоцелевых станков и ГПМ разработан комплект УНП «Система 500» из универсальных базирующих и зажимных элементов (рис. 3.9), предназначенных для компоновки приспособлений на базовой части.

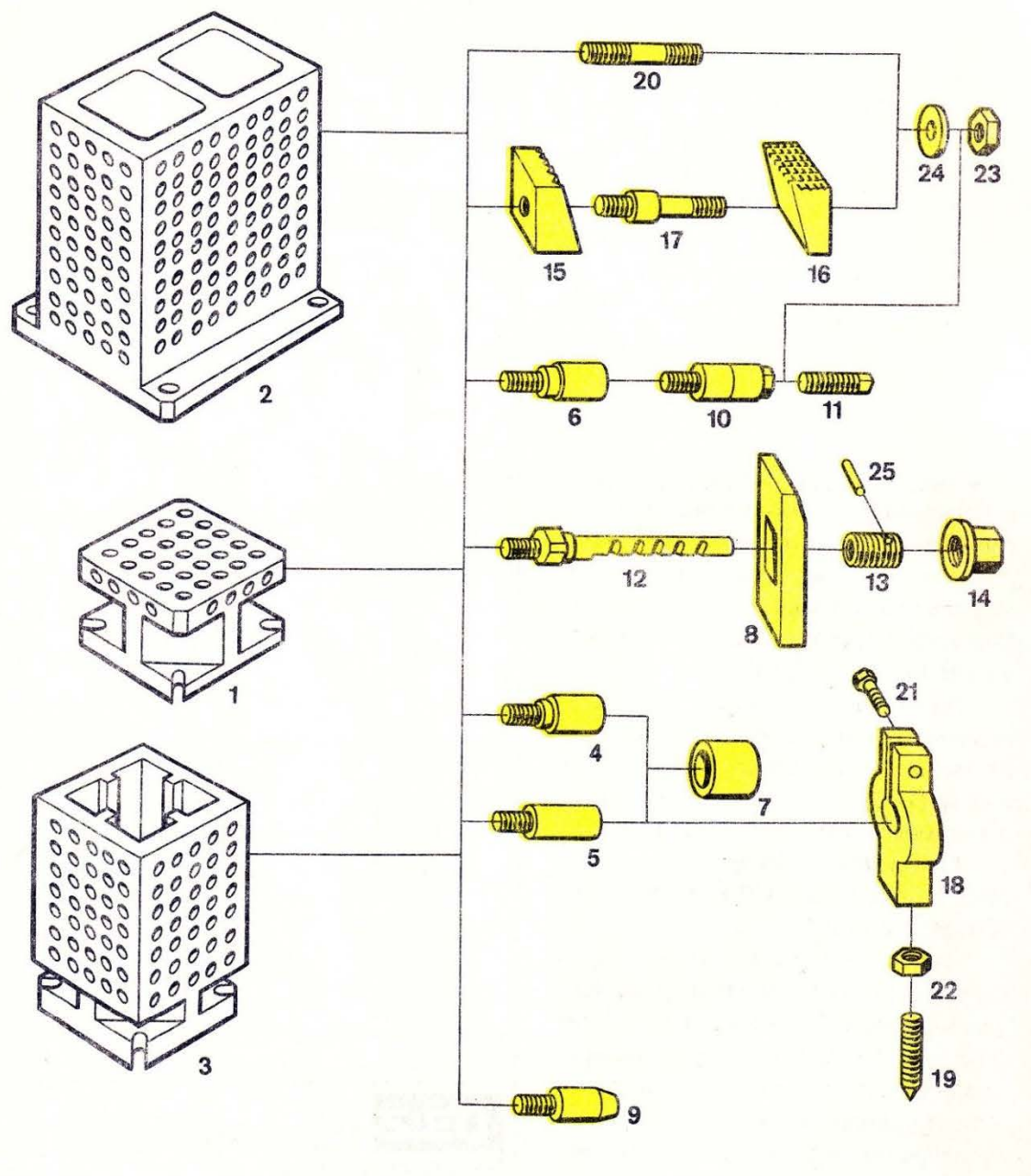


Рис. 3.9. Комплект УНП «Система 500»:

- 1, 2, 3 — призмы; 4, 10 — опоры; 5 — упор; 6 — удлинитель; 7 — кольцо;
 8 — прихват; 9 — палец; 12, 17, 20 — шпильки; 13 — втулка с резьбой;
 14, 22, 24, 23 — гайки; 16 — клин; 18 — хомут; 19 — винт;
 24 — шайба; 25 — штифт

Комплект элементов «Система 500» состоит из базовых четырехсторонних призм: 1 (300×300×500 мм), 2 (460×500×600 мм) и 3 (300×300×500 мм), а также установочных и зажимных элементов 4–25.

На установочных поверхностях базовых деталей выполнена сетка ступенчатых (гладких и резьбовых) координатно-фиксирующих отверстий (КФО) для базирования и закрепления установочных и зажимных элементов. Отверстия имеют буквенно-цифровые обозначения, обеспечивающие быструю компоновку установочных и зажимных элементов на базовых деталях.

Комплект УНП «Система 500» обеспечивает возможность установки заготовок широкой номенклатуры деталей благодаря перекомпоновке приспособлений за счет смены или регулирования установочных и зажимных элементов и предназначен для мелкосерийного производства.

В указанных приспособлениях к станкам с ЧПУ применяют гидравлический привод, что обеспечивает: а) сокращение времени зажима-разжима заготовок, а следовательно, повышение производительности обработки; б) создание больших сил зажима за счет высокого давления масла (10–20 МПа и выше); в) регулирование силы зажима с большой точностью; г) постоянство силы зажима в течение всего времени обработки партии заготовок, что исключает погрешности закрепления; д) интенсификацию режимов резания; е) повышение надежности закрепления, а следовательно, повышение стабильности качества обработки; ж) облегчение труда рабочего; з) многостаночное обслуживание за счет сокращения вспомогательного времени; и) уменьшение износа инструментов благодаря снижению уровня вибраций; к) одновременный многократный (многоточечный) зажим заготовок простыми малогабаритными гидроцилиндрами без применения сложных механических передач; л) автоматизацию подвода-отвода или поворота зажимных элементов путем незначительного усложнения конструкций зажимных устройств; м) независимость силы зажима от колебания размера зажимаемой поверхности; н) доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям.

Благодаря компактности гидравлических зажимных устройств в сочетании с большими силами зажима гидравлические приводы применяют в различных системах станочных приспособлений: универсально-наладочных, специализированных, сборно-разборных, универсально-сборных.

К недостаткам гидроприводов приспособлений можно отнести необходимость специального источника энергии и возвратных трубопроводов. Однако, поскольку источники давления масла могут обслуживать несколько станков или поочередно все приспособления, устанавливаемые на одном станке, стоимость источника давления в расчете на одно приспособление будет невысокой.

Учитывая при этом, что гидравлические приспособления значительно проще и компактнее пневматических, стоимость приспособлений с гидравлическими приводами будет меньше, чем пневматических.

Применяют два типа гидравлических приводов приспособлений к станкам с ЧПУ: электронасосные и пневмогидравлические. Электронасосные приводы применяют в виде насосно-аккумуляторных станций, которые могут обслуживать одновременно несколько приспособлений, установленных на группе станков.

Пневмогидравлические приводы являются наиболее эффективными и перспективными. По сравнению с электронасосными приводами они имеют следующие преимущества: а) создают и поддерживают в течение длительного времени высокое давление масла без расхода пневматической энергии и образования теплоты в гидросистеме, так как расход воздуха происходит только при перемещении поршней гидроцилиндров в период зажима-разжима заготовки; б) нет необходимости в дорогостоящей гидравлической распределительной и контрольно-регулирующей аппаратуре и, следовательно, уменьшается вероятность утечки масла в гидросистеме, поскольку управление гидравлической системой осуществляется от пневматической системы пневмо-гидропреобразователя; в) имеется возможность установки пневмогидравлических преобразователей давления на станке; г) отсутствуют вращающиеся части, что способствует увеличению срока эксплуатации привода.

В качестве источника давления масла применяют двухступенчатый пневматический гидропреобразователь, управление работой которого (предварительный зажим, окончательный зажим и разжим заготовки) осуществляется рукояткой четырехходового крана.

Пневматический гидропреобразователь является индивидуальным приводом и может обслуживать только один станок. Преобразователь может быть установлен на столе станка, на станине станка посредством кронштейна или на подставке около станка.

Базовые гидрофицированные плиты 1 имеют сетку КФО и сетку резьбовых отверстий (рис. 3.10).

В плите 1 выполнены также резьбовые отверстия для быстроразъемного соединения со штуцерами гидроцилиндров 2. Все отверстия соединены с выполненными в плите каналами для масла.

Гидроцилиндры 2 одностороннего действия с вертикальными и горизонтальными штоками для зажима заготовки сверху и сбоку ввинчивают в отверстия, предварительно сняв резьбовую заглушку.

Блок гидравлический 3 применяется в качестве базового и зажимного элемента. Он представляет собой гидроцилиндр, встроенный в прямоугольный корпус, что позволяет присоединять его к базовым плитам систем приспособлений, собирая из гидроблоков каркасные основания при обработке заготовок с большими габаритами.

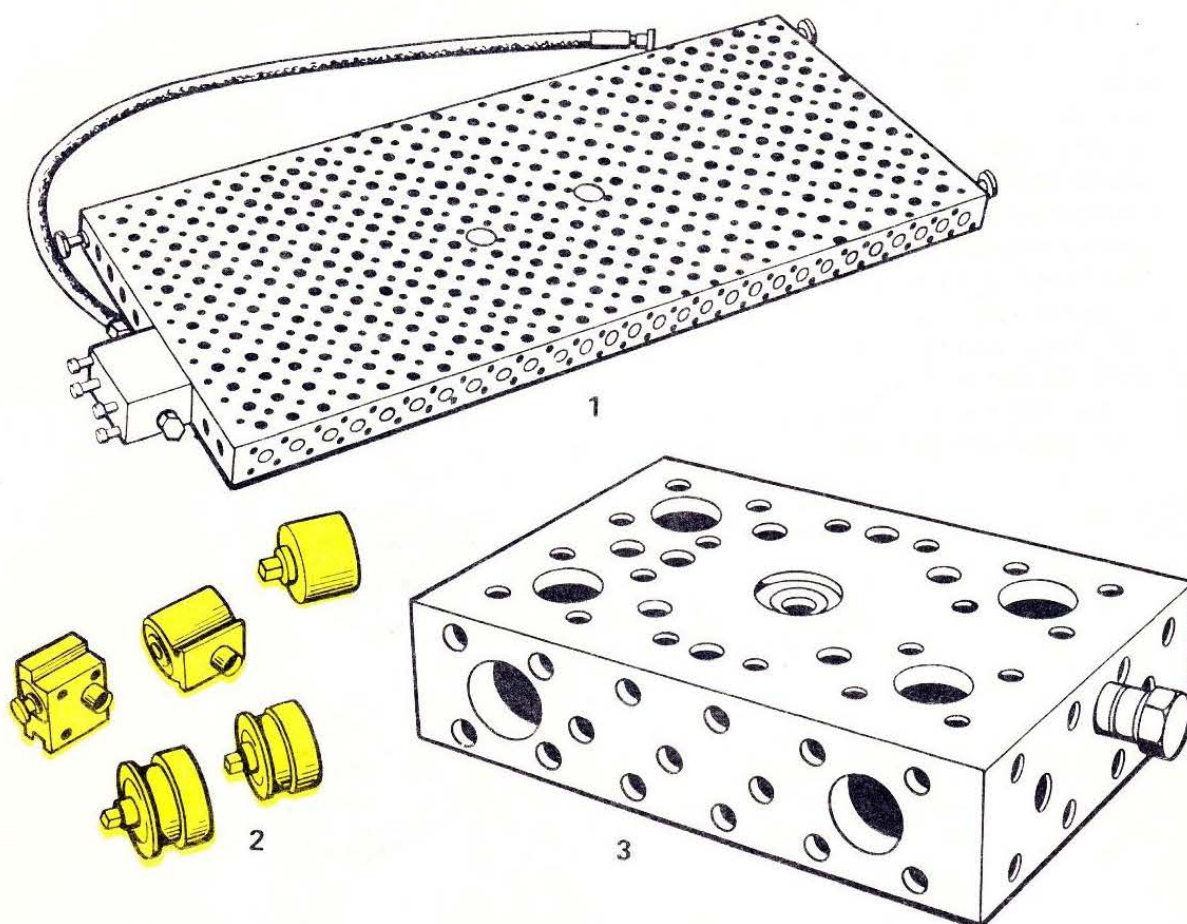


Рис. 3.10. Базовые плиты и гидроцилиндры

Так, комплект универсальной сборно-разборной переналаживаемой оснастки (рис. 3.11) состоит из гидрофицированной плиты 1, бесшланговых гидроцилиндров вертикальных 2 и боковых 3 разных типоразмеров, установочных элементов 4 (подкладок, опор и др.), предназначенных для базирования заготовок на плите 1, а также зажимных элементов 5 (прихваты и прижимы) и крепежных элементов 6 (винты, гайки, шпильки). Гидроцилиндры ввинчивают в любое из резьбовых отверстий базовой плиты, соединенных с каналами в плите. Остальные отверстия должны быть закрыты пробками с уплотнениями.

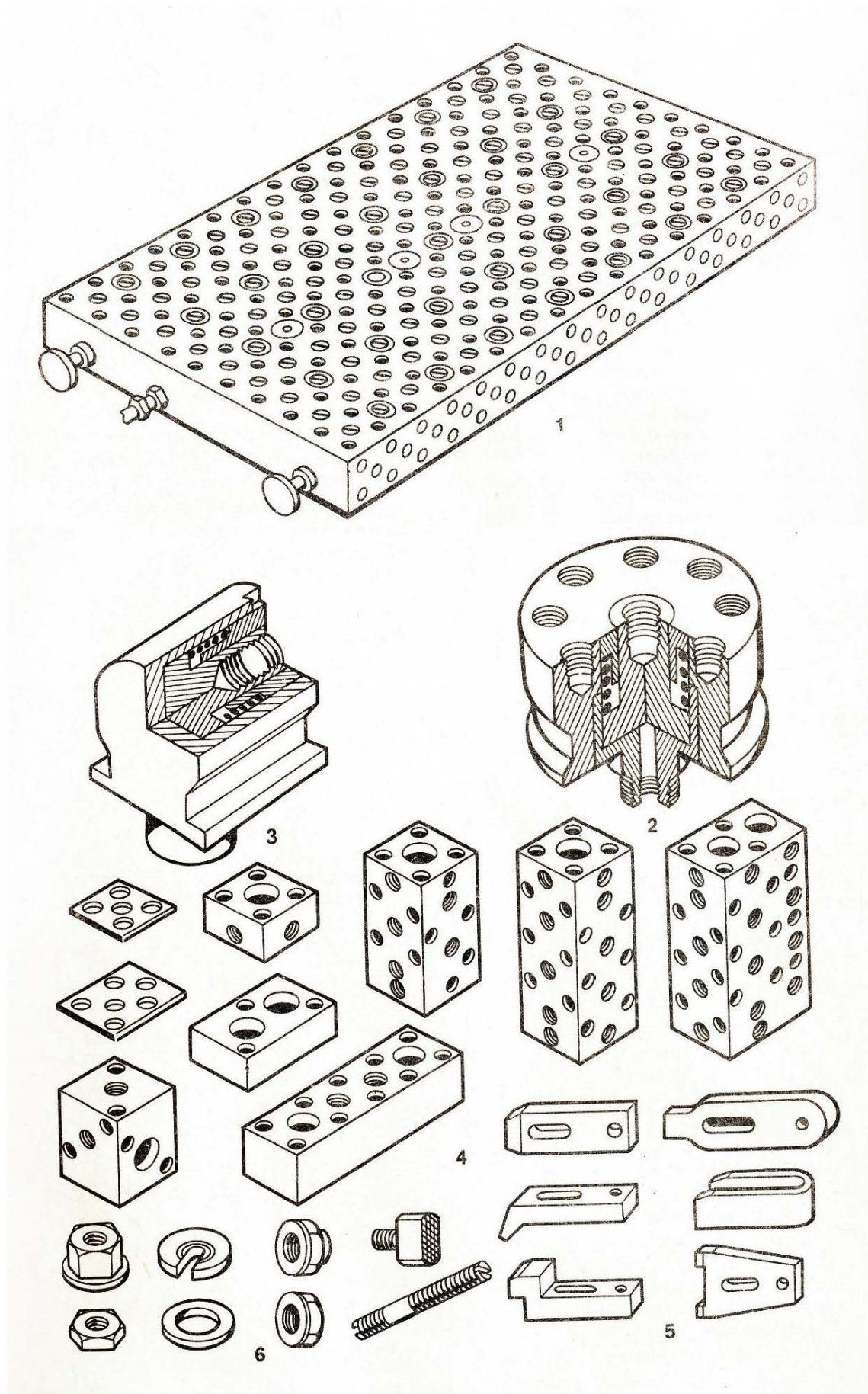


Рис. 3.11. Гидрофицированная универсальная сборно-разборная переналаживаемая оснастка

Рабочая жидкость (масло, поступающее от пневматического гидропреобразователя) подводится к гидроцилиндрам через быстроразъемное соединение и каналы в гидроплите. После зажима заготовки муфта быстроразъемного соединения отсоединяется, при этом давление в замкнутой гидросистеме поддерживается пружинным гидравлическим аккумулятором.

Сетка КФО выбирается в зависимости от массы заготовки. Поставляются элементы с диаметром КФО 10 и 12 мм с шагом между отверстиями 30 и 40 мм соответственно. В качестве примера на рис. 3.12 показано двухместное гидравлическое приспособление с установленными корпусными деталями.

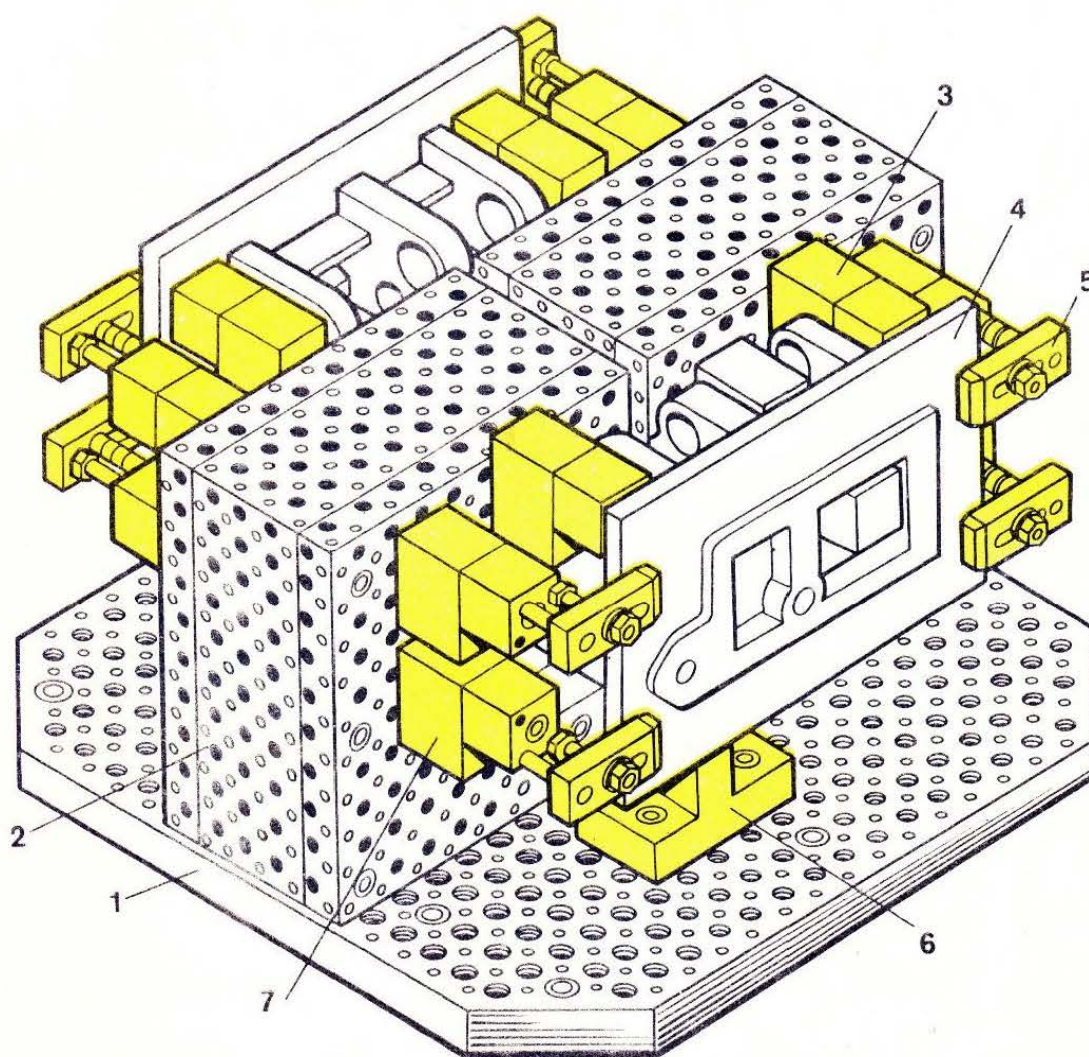


Рис. 3.12. Двухместное гидравлическое приспособление с горизонтальными гидроцилиндрами

Заготовки 4 корпусных деталей базируют по плоскостям опор 3 и 6 и закрепляют четырьмя прихватами 5, на которые передается усилия зажима от гидроцилиндров 7, расположенных на установочных элементах 2, которые, в свою очередь, закреплены на гидрофицированной плите 1. Зажим заготовок осуществляется в горизонтальной плоскости.

Другой пример двухместного гидравлического приспособления для установки двух корпусных деталей показан на рис. 3.13.

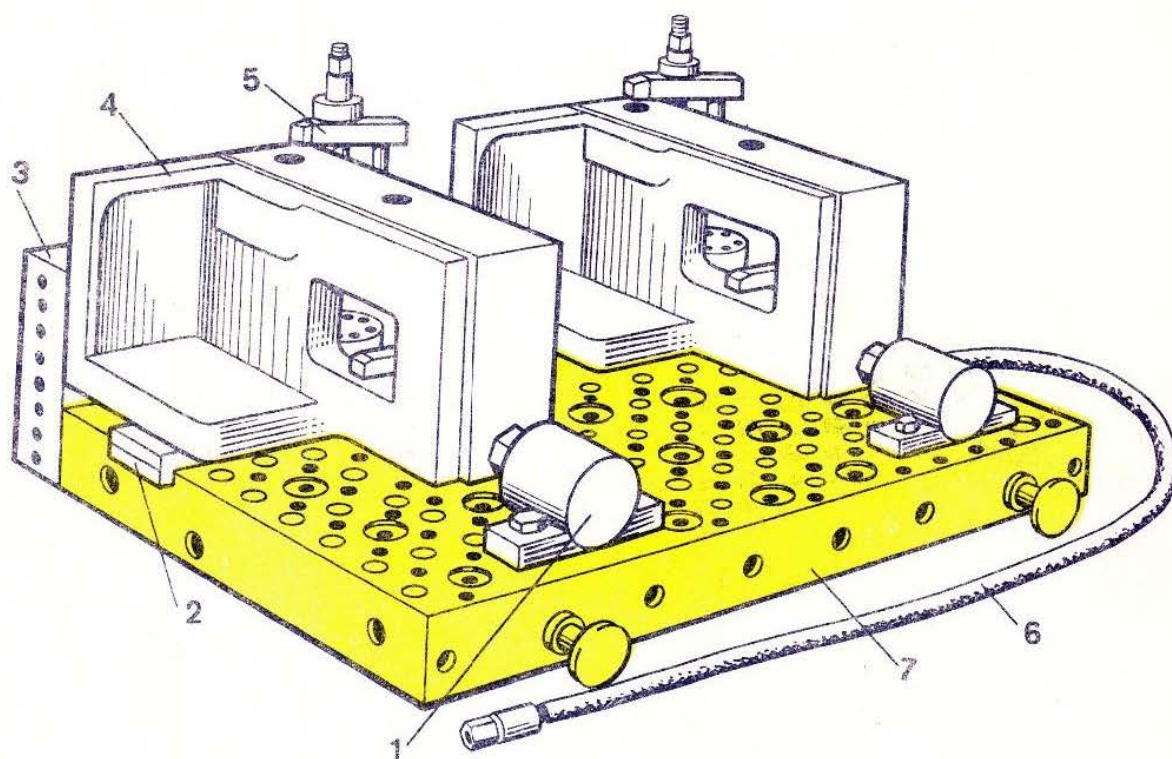


Рис. 3.13. Двухместное гидравлическое приспособление с горизонтальными и вертикальными гидроцилиндрами

Заготовки корпусных деталей 4 базируют по трем плоскостям, устанавливая плиту 7 до упора в угольник 3 и опорную планку 2. Заготовки закрепляют сверху прихватами 5, шпильки которых ввернуты в штоки поршней вертикальных гидроцилиндров (на рис. 3.13 не обозначены), ввинченных в отверстия плиты 7. Сбоку заготовки закрепляются горизонтальными гидроцилиндрами 1. Шланг 6 предназначен для подачи масла в каналы плиты от источника давления.

3.4. Универсальные и специальные сборно-разборные приспособления

Универсальные сборно-разборные приспособления (УСРП) состоят из стандартных, заранее изготовленных из легированных сталей с высокой степенью точности элементов, из которых собирают компоновки специальных приспособлений. По окончании обработки партии заготовок компоновки разбирают на составные элементы, используемые вновь для других компоновок. Применение УСРП не требует стадии конструирования приспособлений.

Для станков с ЧПУ технолог-программист разрабатывает схему базирования и закрепления заготовки с технологическими размерами и 3D-модель, по которой (пользуясь также чертежом заготовки или самой заготовкой) слесарь собирает компоновку приспособления. Для ускорения сборки повторяемых компоновок перед разборкой их фотографируют без заготовки и с заготовкой и составляют типовую спецификацию, в которую вносят все элементы комплекта, отмечая те элементы, которые входят в данную компоновку. В карте наладки дают также указания по сборке приспособлений.

Преимущество УСРП по сравнению со специальными приспособлениями — экономия материала, сокращение числа приспособлений, складских помещений, трудоемкости технологической подготовки производства.

Цена элементов УСРП высокая, поэтому каждая компоновка УСРП дороже специальных приспособлений. Экономия достигается лишь при многократном использовании элементов для компоновки различных приспособлений. Частота повторного использования элементов является важнейшим показателем эффективности их использования. На станках с ЧПУ применение УСРП экономически целесообразно в мелкосерийном производстве.

Соединение элементов УСРП осуществляется посредством пазов и шпонок по принципу полной взаимозаменяемости. Базовая плита имеет точные продольные и поперечные пазы. Конструктивные элементы, также имеющие пазы, соединяются с плитой посредством элементов — пазовых шпонок.

УСРП обеспечивают высокую гибкость, поскольку присоединяемые элементы в продольном направлении паза могут быть установлены в любом месте, что создает хорошие условия для установки заготовок, различных по размеру и форме. В поперечном направлении позиционирование зависит от расстояний между пазами. Изготовление элементов с соединением посредством пазов требует обеспечения точных допусков.

Наличие Т-образных пазов снижает жесткость плиты и, следовательно, вызывает необходимость увеличения их высоты.

Применение УСРП на станках с ЧПУ имеет ряд недостатков. К ним относятся: а) наличие большого числа стыков в приспособлении, повышающих его податливость, что вызывает необходимость занижать режимы резания, а следовательно, снижать производительность обработки; б) большие начальные капитальные затраты; в) ограничение размеров обрабатываемых заготовок; г) обработка заготовок с нескольких сторон ограничена из-за трудностей с подхода инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям; д) комплекты УСРП не имеют гидравлических приводов зажимных устройств, что обуславливает значительные затраты времени на закрепление-раскрепление заготовок.

Для устранения указанных недостатков разработаны механизированные универсально-сборные приспособления для станков с ЧПУ, элементы которых входят в систему УСПМ — ЧПУ. Они предназначены для установки заготовок на станках фрезерной и сверлильно-расточной групп в единичном и мелкосерийном производстве.

Основой комплекта системы являются базовые сборочные единицы — гидроблоки, то есть плиты с Т-образными пазами и встроенными гидроцилиндрами, на которых komponуются установочные и зажимные устройства и элементы. На рис. 3.14 показан гидравлический блок системы УСПМ—ЧПУ с одним цилиндром, а на рис. 3.15 — гидравлический блок этой системы с пятью цилиндрами.

В качестве источника давления гидроблоков применяют пневмогидравлические преобразователи давления. Гидроблок (рис. 3.14) выполнен в виде плиты прямоугольной формы 5 со встроенными гидроцилиндрами 3 двустороннего действия, со штуцерами 2 и заглушками 1. Верхние и нижние полости цилиндров гидроблока сообщаются между собой каналами.

При подаче масла от источника давления под рабочим давлением в полость А на штоке поршня создается сила, которая через шпильку, установленную в резьбовое отверстие штока поршня, передается на зажимной элемент. При подаче масла в штоковую полость В поршень возвращается в исходное положение, при этом заготовка разжимается.

Верхняя и торцовые поверхности гидроблоков имеют Т-образные шпоночные пазы и резьбовые отверстия. Наличие таких конструктивных элементов обеспечивает компоновку гидроблоков с деталями УСП.

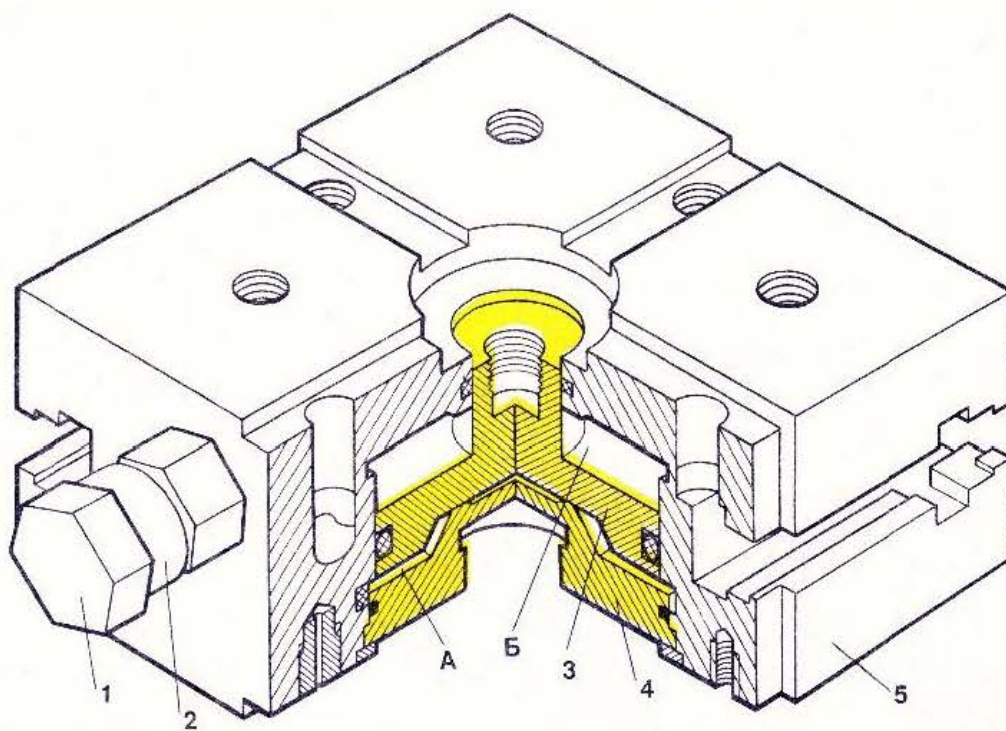


Рис. 3.14. Гидроблок с одним цилиндром

Гидроблок (рис. 3.15) может использоваться как самостоятельное базовое основание при компоновке приспособлений для базирования и закрепления заготовок. Он представляет собой базовую плиту 2 с размерами $360 \times 300 \times 60$ мм, в которую встроены пять гидроцилиндров 1 двустороннего действия. Масло подводится к гидроцилиндрам через штуцеры 3 и каналы в плите. Штоки гидроцилиндров, не участвующих в работе, стопорятся Т-образными шпонками 4.

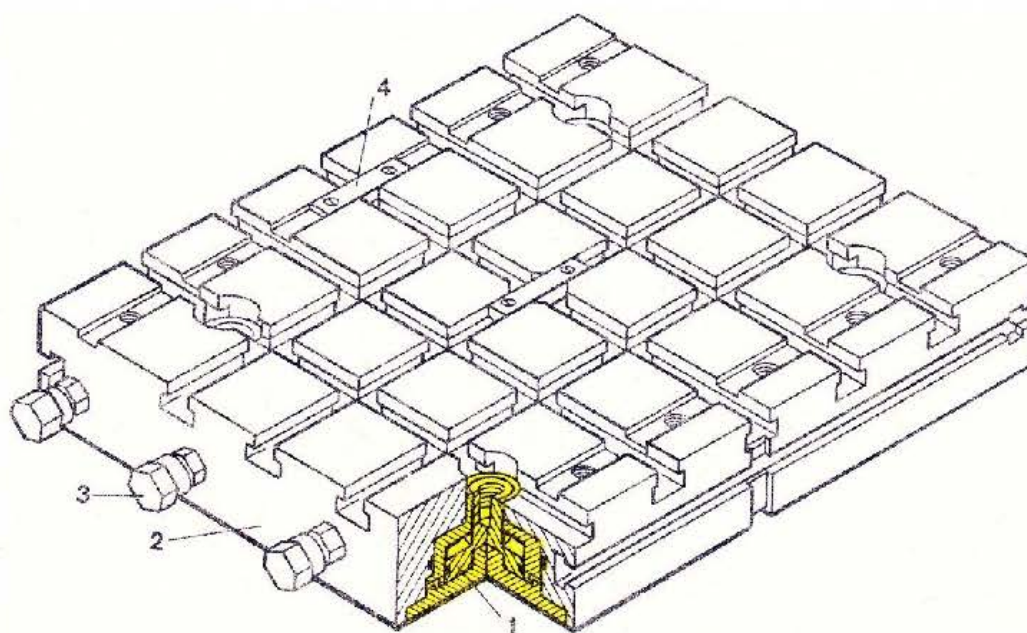


Рис. 3.15. Гидроблок с пятью цилиндрами

Базовое основание может быть собрано из нескольких гидроблоков, соединенных между собой или с плитами УСП.

В качестве опорных элементов системы УСПМ — ЧПУ могут использоваться прямоугольные опоры, планки, корпуса, подкладки, регулируемые опоры, предназначенные для установки и закрепления гидроцилиндров в собираемых приспособлениях в необходимом положении и для базирования обрабатываемых заготовок. Прижимные детали и сборочные единицы обеспечивают зажим обрабатываемых заготовок в приспособлениях. К этой группе относятся гидравлические прижимы, самоустанавливающиеся, ступенчатые, вильчатые прихваты, клиновые и эксцентриковые прижимы.

Применяют два комплекта УСПМ — ЧПУ: с пазами 12 мм (УСПМ — 12ЧПУ) и с пазами 16 мм (УСПМ — 16ЧПУ). Число элементов в комплектах соответственно 306 и 244. Среднее число приспособлений, komponуемых из одного комплекта в год, — соответственно 1000 и 500. Срок службы комплекта 10–15 лет.

В зависимости от компоновок базовых оснований и от применения различных гидравлических и быстродействующих устройств из комплекта средств механизации могут быть собраны четыре типа приспособлений: 1) на одном или нескольких гидравлических блоках; 2) на базовых плитах УСП с приставкой к ним гидроблоков в местах установки прижимных элементов; 3) на базовых плитах УСП с механизацией зажимов посредством гидравлических цилиндров и агрегатированных гидравлических зажимных устройств; 4) на плитах УСП с применением ручных эксцентриковых зажимов.

Примером дальнейшего развития систем приспособлений служит универсально-сборная переналаживаемая оснастка (УСПО), предназначенная для установки заготовок корпусных, плоскостных деталей и отливок малых и средних размеров в единичном и среднесерийном производстве на многоцелевых станках.

Основой комплекта УСПО являются универсальные взаимозаменяемые элементы — детали и сборочные единицы различных конструкций, имеющие конкретное функциональное назначение, из которых методом агрегатирования можно компоновать приспособления для выполнения любых операций.

Пример компоновки приспособления системы УСПО — девятиместное гидравлическое приспособление для установки фланцев при обработке отверстий на многоцелевом станке с ЧПУ в условиях серийного производства — показан на рис. 3.16.

Приспособление предназначено для базирования и закрепления заготовок деталей типа «фланец» при их обработке на многоцелевых станках с ЧПУ в условиях серийного производства.

Заготовки 4 базируют по торцу и внутренней цилиндрической поверхности, устанавливают на стаканы 3 и закрепляют быстросъемными шайбами 5 с помощью гаек 6 и шпилек 7, ввинченных в штоки поршней гидроцилиндров 8. Стаканы 8 ввинчены в отверстия плиты. Быстроразъемное соединение 2 предназначено для соединения каналов плиты с источником давления масла.

В конструкции соединения элементов УСПО есть отличие от способа фиксации элементов системы УСПМ — ЧПУ (соединения «паз-шпонка») и отличие от системы, где фиксация осуществляется посредством соединения «палец — отверстие», в которых имеются зазоры.

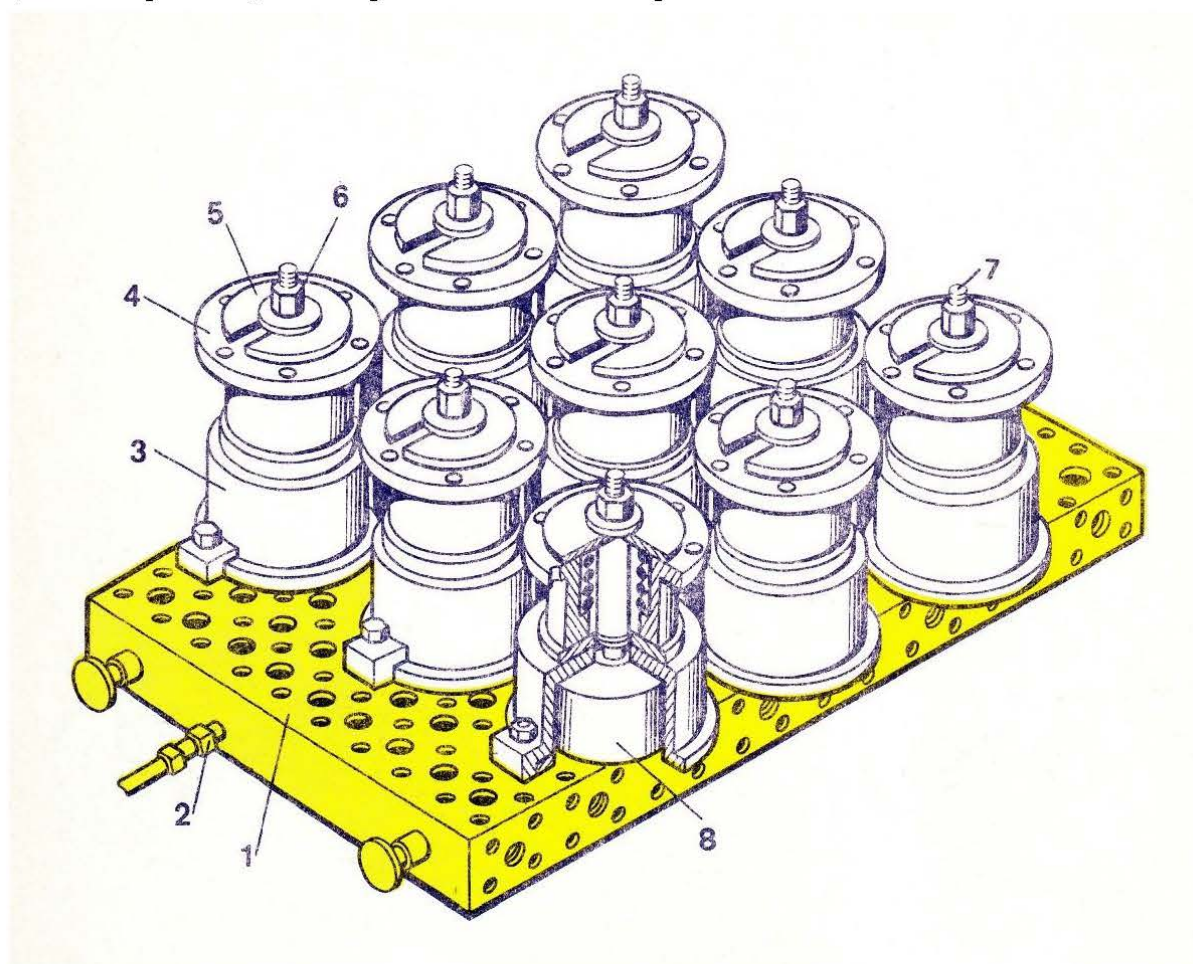


Рис. 3.16. Девятиместное гидравлическое приспособление для установки фланцев из элементов системы УСПО

В УСПО элементы соединяются с помощью сборных фиксирующих штифтов, обеспечивающих устранение зазора в соединении штифт — отверстие в процессе соединения элементов за счет разжима разрезных втулок (рис. 3.17).

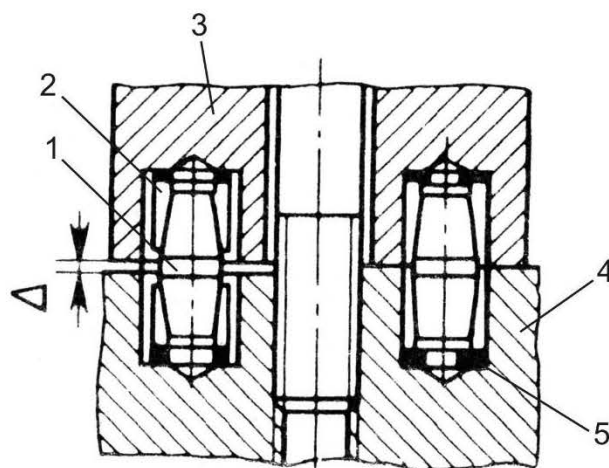


Рис. 3.17. Способ базирования элементов системы УСПО

Два элемента, опора 3 и плита 4, имеющие глухие цилиндрические отверстия, фиксируются на два сборных штифта (рис. 3.17). Каждый штифт состоит из пальца 1 с двумя коническими поверхностями, двух разрезных втулок 2 и двух эластичных шайб 5. При сборке соединения под действием силы, создаваемой болтом или шпилькой, опора 3 прижимается к плите 4. При этом доньшки отверстий давят через шайбы 5 на втулки 2, которые, перемещаясь по пальцу, увеличиваются в диаметре, обеспечивая соединение без начального зазора Δ (левая часть рис. 3.17).

Высокая жесткость компоновок и высокая точность фиксации элементов УСПО повышают стабильную точность компоновок в 1,5–2 раза, обеспечивают точность обработки заготовок по 7-му качеству. Вследствие отсутствия Т-образных пазов, ослабляющих конструкцию деталей, их жесткость увеличена при одновременном уменьшении высоты. Повышение жесткости элементов, ликвидация зазоров и увеличение диаметра крепежных болтов обеспечивает повышение жесткости компоновок приспособлений в 1,5–2 раза при снижении металлоемкости на 25–30%, позволяет увеличить режимы резания в 1,7 раза по сравнению с приспособлениями, комплектуемыми из элементов УСП.

Разработаны три серии комплекта УСПО, обеспечивающие возможность сборки приспособлений для установки заготовок различных размеров и массы. Серии отличаются габаритными размерами, диаметрами КФО — 8; 12 и 16 мм и резьбовых отверстий — М8; М12×1,5 и М16, а также шагом между КФО — 20, 30 и 40 мм с допуском $\pm 0,02$ мм.

Каждая серия включает различные по функциональным назначениям детали и сборочные единицы: базовые — плиты и угольники, являющиеся основаниями приспособлений; корпусные — опоры, подкладки, планки, прокладки для сборки корпуса приспособлений; направляющие — призмы, планки, паль-

цы установочные, втулки базирующие; зажимные — прихваты, тисочные губки, прижимы; крепежные — винты, шпильки, гайки, предназначенные для сборки приспособлений и закрепления обрабатываемых заготовок.

К средствам механизации относятся гидроблоки, гидроцилиндры одностороннего и двустороннего действия, гидроприхваты различных видов, трубопроводы, пневмогидравлические преобразователи давления (20 МПа). Для сборки компоновок механизированных приспособлений для обработки разнообразных групп деталей предназначена гидроплита.

На поверхности плиты выполнена сетка координатно-фиксирующих и резьбовых отверстий, предназначенных для установки и закрепления установочных и зажимных элементов УСПО.

В центре плиты выполнено отверстие, к которому привязана сетка координатно-фиксирующих отверстий. В корпус плиты встроены гидроцилиндры. По конструкции и назначению гидроплиты УСПО близки к гидроплитам системы УСПП. Отличием является отсутствие Т-образных пазов, функцию которых выполняет сетка резьбовых отверстий.

Система специальных сборно-разборные приспособления для станков с ЧПУ (СРП — ЧПУ) включает элементы деталей и сборочные единицы, из которых komponуются различные приспособления для серийного производства. Они переналаживаются путем перекомпоновки, регулирования или замены специальных сменных наладок.

Элементы СРП — ЧПУ фиксируются между собой посредством соединений «палец — отверстие», в которых имеются зазоры. Однако это соединение обеспечивает более высокую стабильность точности, чем соединение «паз — шпонка». Применение сетки КФО в базовых сборочных единицах комплекта СРП вместо сетки пазов позволяет в 2 раза повысить жесткость базовых элементов.

Механизированное крепление заготовок обеспечивается наличием встроенных в плиты гидроцилиндров, а также гидравлических зажимных устройств. Для лишения заготовки всех шести степеней свободы и ее точной фиксации относительно начала координат станка (нулевой точки) приспособления базируются на столе станка не в одном (вдоль паза), а в двух направлениях.

СРП — ЧПУ имеет базовые плиты длиной до 900 мм, что обеспечивает возможность компоновки на них многоместных приспособлений.

Высокая жесткость приспособлений СРП — ЧПУ позволяет полностью использовать мощность станков. Элементы этой системы выполняют двух ти-

пов: СРП — 14ЧПУ и СРП — 18ЧПУ с шириной крепежного паза соответственно 14 и 18 мм, диаметром КФО 12Н7 и 16Н7, крепежными болтами диаметром 12 и 16 мм, шагом между КФО $60 \pm 0,015$ и $80 \pm 0,015$. Число сборочных единиц комплекта 1050. Срок службы единиц 12–15 лет.

В соответствии со своим назначением детали и сборочные единицы СРП образуют шесть групп: 1) базовые сборочные единицы; 2) прижимные детали и сборочные единицы; 3) опорные детали и сборочные единицы; 4) установочные детали и сборочные единицы; 5) крепежные детали; 6) детали разные.

Возможны следующие варианты применения базовых плит или угольников: а) плита устанавливается постоянно на стол станка и используется как стационарная принадлежность станка; б) на плите или угольнике komponуется специальное приспособление долговременного применения, при этом допускается досборка деталей и сборочных единиц; в) плита или угольник с наладками снимаются со стола; г) на столе станка могут быть установлены одновременно две плиты, и станок будет работать в маятниковом режиме.

При этом обеспечивается смена заготовки в одном из приспособлений вне рабочей зоны станка во время обработки заготовки, установленной в другом приспособлении. Базовая плита со скомпонованным на ней приспособлением снимается со стола станка для смены заготовки вне станка во время обработки заготовки в приспособлении-дублере.

Компоновка четырехместного приспособления из элементов системы СРП–ЧПУ для установки заготовок детали «Крышка» показана на рис. 3.18.

Четырехместное СРП–ЧПУ для установки заготовок фланцев для фрезерования лысок и сверления отверстий на многоцелевом станке состоит из плиты 1, на корпусе которой установлены сменные блоки 2, базирующиеся по КФО посредством цилиндрического 10 и ромбического 11 пальцев и закрепляются болтами 6 и гайками 7. Обрабатываемые заготовки устанавливаются на блоки и базируются отверстиями по втулкам 5. Закрепляются заготовки болтами 4, ввинченными в штоки поршней, встроенных в плиту 1 гидроцилиндров, посредством быстросъемных шайб 3. Приспособления устанавливают по пазу стола станка посредством пальцев 9. Элементы 8 — см. рис. 3.17.

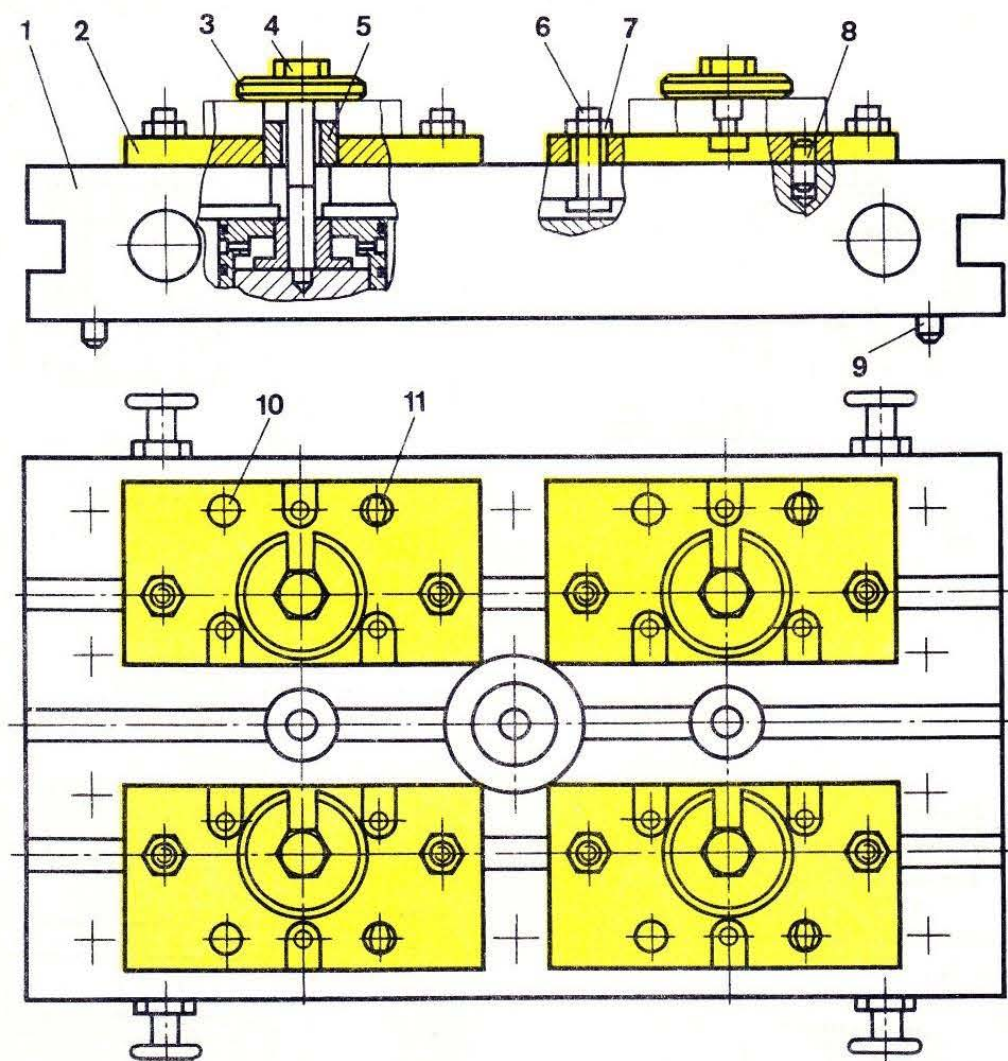


Рис. 3.18. Компоновка четырехместного приспособления
из элементов системы СРП — ЧПУ

Для установки четырех деталей «Планка» на многоцелевом станке применяется СРП — ЧПУ, показанное на рис. 3.19.

На плите 11 установлены сменные блоки 1, которые базируются посредством пальцев 9 и закрепляются болтами 2 и гайками 3. Заготовки 8 устанавливают на блок 1 и доводят до базирующих штырей 12. Закрепление заготовок осуществляется передвижными прихватами 5 с пружинами 4. Сила зажима прихватам передается гайками 6 и шпильками 10, ввинченными в штоки поршней, встроенных в плиту 11 гидроцилиндров. Приспособление базируется по пазу станка пальцами 7. По оси X приспособление базируется по центральному отверстию.

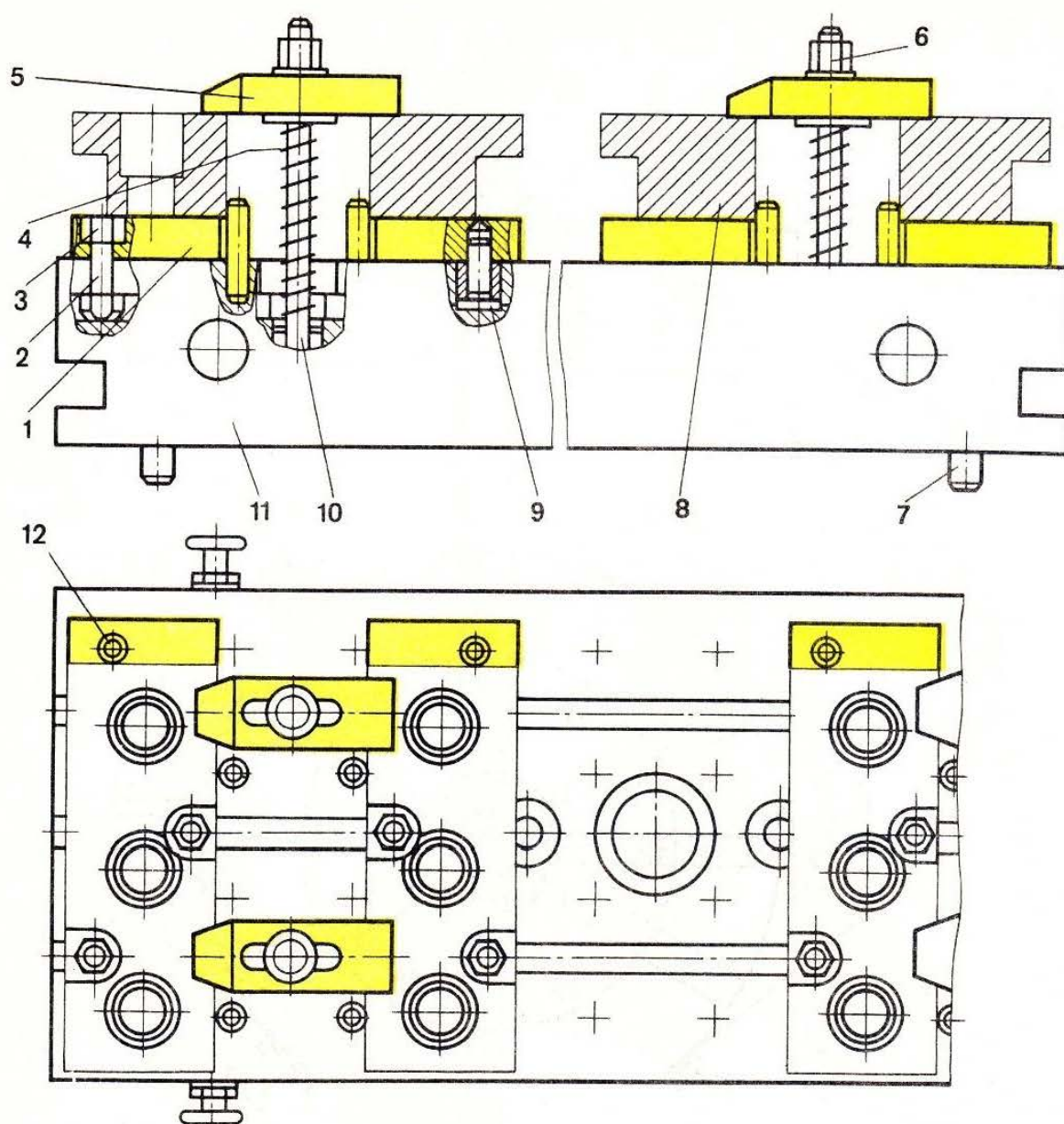


Рис. 3.19. Четырехместное приспособление
для установки заготовок детали «Планка»

ГЛАВА 4. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СМЕНЫ ЗАГОТОВОК НА ГПМ И ГПС

4.1. Приспособления для обработки заготовок в одну операцию

При обработке заготовок корпусных деталей, устанавливаемых на поворотных столах многоцелевых станков с ЧПУ, наибольшая эффективность достигается при выполнении операции с одной установки заготовки, для чего необходимо обеспечить полную доступность инструмента, то есть возможность подхода инструмента по всем обрабатываемым поверхностям.

Закрепление заготовок небольшой высоты (плоскостных деталей), имеющих обработанную на предыдущей операции на универсальном станке достаточно большую плоскую установочную поверхность, может осуществляться на плитах с постоянными магнитами. Применение таких плит с постоянными оксидно-бариевыми магнитами обеспечивает большую силу притяжения, благодаря большой площади магнитов и наличия двух магнитных блоков: верхнего неподвижного и нижнего подвижного.

При наличии на заготовке двух технологических отверстий и соответствующих им штырей в магнитной плите последние базируют заготовку и воспринимают силы, стремящиеся сдвинуть заготовку в процессе обработки. Для возможности обработки заготовки с четырех сторон с одной установки на станках с ЧПУ с горизонтальным шпинделем приспособления устанавливают на поворотных столах станков с ЧПУ.

Наиболее технологичными деталями являются корпусные детали, основания которых имеют большие заплечики, обеспечивающие возможность закрепления заготовок прихватами или болтами, проходящими через крепежные отверстия, выполненные на заплечиках. При отсутствии заплечиков у заготовок в нижней установочной поверхности выполняют технологические резьбовые отверстия, посредством которых к заготовке снизу винтами через втулки, обеспечивающие возможность выхода инструмента, закрепляют универсальные переходные плиты с сеткой отверстий, выполняющей функцию заплечиков («ложные платики»).

Заплечики закрепляют винтами на столе многоцелевого станка. Однако закрепление заготовок через крепежные отверстия в заплечиках заготовки или в «ложных заплечиках» недостаточно надежно для обработки с интенсивными режимами резания, обеспечивающими использование полной мощности станка.

Поэтому, помимо закрепления заготовки 2 с заплечиками, которые привинчены к столу 5 винтами 6, используют два гидравлических зажимных устройства (рис. 4.1) с автоматическим поворотом прихватов 1 и 3, являющихся автономными агрегатами.

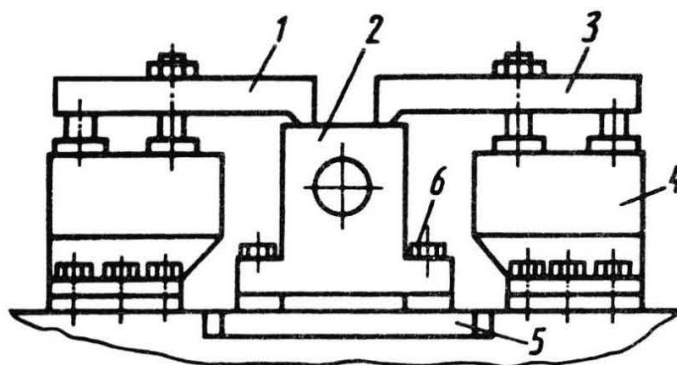


Рис. 4.1. Схема закрепления заготовки гидрозажимами

Для этого в корпусе 4 имеется гидропривод, состоящий из электрогидравлического насоса и гидроцилиндра двустороннего действия. Гидравлические зажимные устройства устанавливают на столе станка справа и слева от стола 5.

По окончании обработки одной из сторон заготовки 2 по команде ЧПУ прихваты 1 поднимаются, раскрепляя заготовку, и поворачиваются на 180° . После этого по команде ЧПУ поворотный стол 5 с заготовкой автоматически поворачивается на нужный угол, затем прихваты возвращаются в рабочее положение и вновь закрепляют заготовку для обработки со следующей стороны.

Для обработки заготовок с пяти сторон приспособления устанавливают на поворотно-делительных столах с двумя осями поворота или на делительной стойке, установленной на поворотно-делительном столе станка.

4.2. Автоматическая смена заготовок из накопителей

Совмещение времени смены заготовок со временем работы станков с программным управлением без съема приспособлений со станка осуществляется несколькими способами. Наиболее простым способом совмещения времени установки и закрепления заготовок небольших габаритов со временем работы станка является применение маятникового («челночного») способа обработки.

При этом способе на столе станка устанавливают два приспособления. Съём и установку заготовок производят в одном из приспособлений, находящемся в загрузочной позиции, во время обработки другой заготовки, установленной в приспособлении, находящемся в рабочей позиции.

Время смены заготовок затрачивается лишь на быстрое перемещение стола из одной позиции в другую и не перекрывается работой станка. Приспособления могут быть приспособлениями-дублерами. В этом случае, у заготовок, устанавливаемых в каждом из приспособлений, обрабатываются аналогичные поверхности с одной установки заготовки по одной и той же программе.

При установке на столе станка двух различных приспособлений в первом приспособлении обрабатывается одна группа поверхностей заготовки по одной программе, обработанная в первом приспособлении заготовка переустанавливается во второе приспособление, и по второй программе обрабатывается другая группа поверхностей заготовки (рис. 4.2).

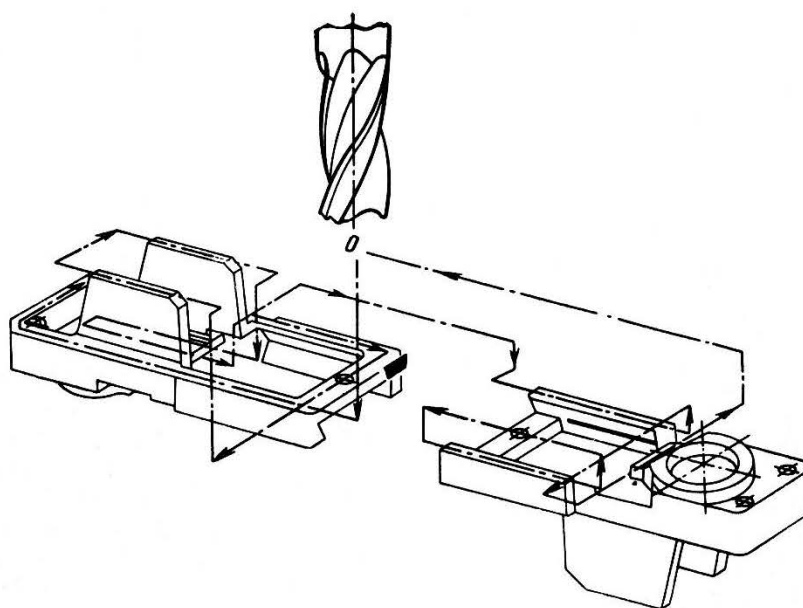


Рис. 4.2. Схема обработки двух разных заготовок с одной установки приспособлений на стол станка

При маятниковом методе обработки, несмотря на повышение дополнительных затрат, связанных с изготовлением и эксплуатацией приспособления-дублера, стоимость обработки заготовки снижается за счет сокращения времени простоев станков с ЧПУ, стоимость станко-часа которых значительно выше, чем обычных станков.

Особенно снижается стоимость обработки при коротких циклах обработки, где доля времени, затрачиваемого на смену заготовки в общем балансе штучно-калькуляционного времени, значительно выше, чем при длительном цикле обработки.

Для совмещения вспомогательного времени на смену заготовок небольших размеров со временем работы станка применяют также двухпозиционные поворотные столы, на которых устанавливают два приспособления.

После обработки заготовки в приспособлении, находящемся в рабочей позиции, стол поворачивают на 180° , в результате чего приспособление, находившееся в загрузочной позиции, устанавливается в рабочую позицию, а приспособление с обработанной деталью устанавливается в загрузочно-разгрузочную позицию для съема обработанной заготовки и установки новой заготовки, подлежащей обработке.

Совмещение времени смены заготовок со временем работы станка достигается также за счет применения двух- или 4-позиционных приспособлений, устанавливаемых на поворотных столах станков с ЧПУ с горизонтальным шпинделем.

Переналаживаемые приспособления, применяемые при таком способе обработки, представляют собой угольники или блоки коробчатого сечения с двумя или четырьмя установочными поверхностями с координатной сеткой отверстий или пазов для установки и закрепления сменных базовых элементов или наладок. Во время обработки заготовки, установленной в одном из приспособлений, в другом приспособлении, установленном на противоположной стороне угольника, рабочий производит смену заготовок.

Время простоя станка при смене заготовки обуславливается в этом случае лишь временем, затрачиваемым на поворот делительного стола станка на 180° (в случае применения угольника с двумя установочными поверхностями при двухпозиционной обработке).

На многоцелевых станках с одной установки заготовки обрабатывается максимальное число поверхностей. При этом доля машинного времени в общем балансе штучно-калькуляционного времени резко увеличивается, что обуславливает возможность совмещения времени, затрачиваемого на смену заготовок, со временем работы станка.

Наиболее эффективным средством сокращения вспомогательного времени, затрачиваемого на смену заготовок, то есть транспортирование, установку, закрепление, раскрепление и съем при цикле обработки, превышающем время, затрачиваемое на эти приемы, является смена заготовок во время работы многоцелевого станка или ГПМ в составе ГПС.

При этом время, в течение которого производится смена заготовок, частично перекрывается временем работы станка. Таким образом, время простоя дорогостоящих многоцелевых станков, затрачиваемое на смену заготовок, сокращается.

При этом сокращается также подготовительно-заключительное время на смену приспособлений для обработки новой партии заготовок, поскольку их

смена и установка в них первой заготовки следующей партии также совмещается со временем работы станка.

Для смены заготовок вне станка применяют два приспособления, в одном из которых, установленном вне станка на спутнике, производится раскрепление и съем обработанной заготовки, а затем установка и закрепление заготовки, подлежащей обработке, в то время как в другом приспособлении со спутником, установленным на столе станка, производится обработка заготовки.

На рис. 4.3 показан ГПМ с вспомогательным поворотным столом, который оснащен устройством автоматической смены спутников, состоящим из двухпозиционного вспомогательного поворотного стола. По окончании обработки спутник с обработанной заготовкой автоматически смещается со стола станка на свободную позицию вспомогательного стола.

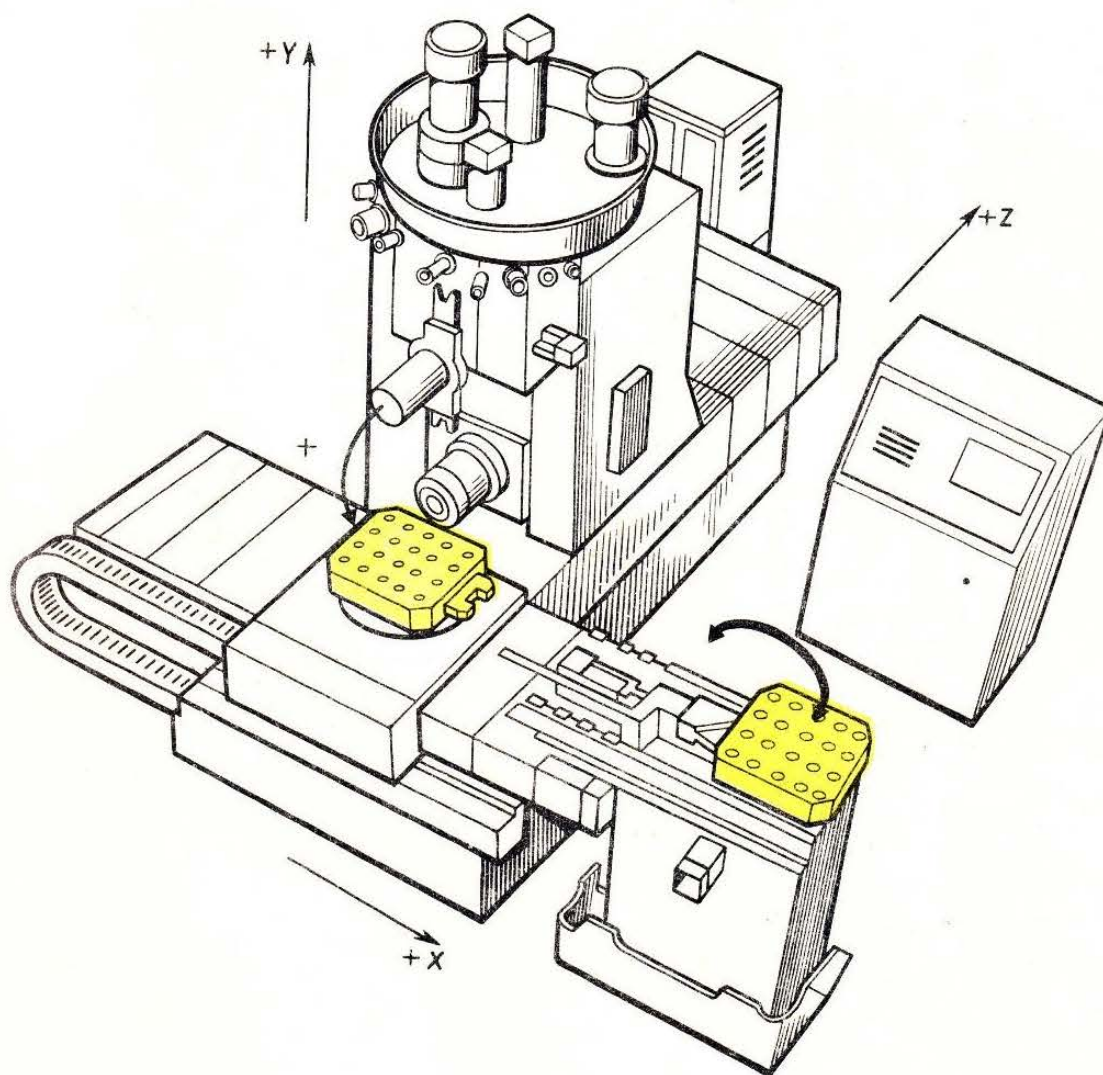


Рис. 4.3. ГПМ с вспомогательным поворотным столом

На второй позиции стола установлен спутник с очередной заготовкой. Стол поворачивается на 180° и спутник с очередной заготовкой смещается на стол станка. Спутники выполняют с сеткой Т-образных пазов или отверстий на поверхности для установки и закрепления сменных установочных и зажимных элементов. В этих случаях спутники являются одновременно базовым элементом переналаживаемых приспособлений.

Съем спутников с обработанной заготовкой со стола станка и установка ее на свободную позицию вспомогательного стола, а также съем спутника с очередной заготовкой, подлежащей обработке, со второй позиции вспомогательного стола и установка ее на стол станка осуществляется посредством автоматических устройств.

Устройства для автоматической смены спутников предусматривают наличие двух вспомогательных столов, на направляющие которых автоматически посредством гидропривода со стола станка перемещают спутники с обработанной заготовкой, а на стол станка — спутники с заготовкой, подлежащей обработке (рис. 4.4).

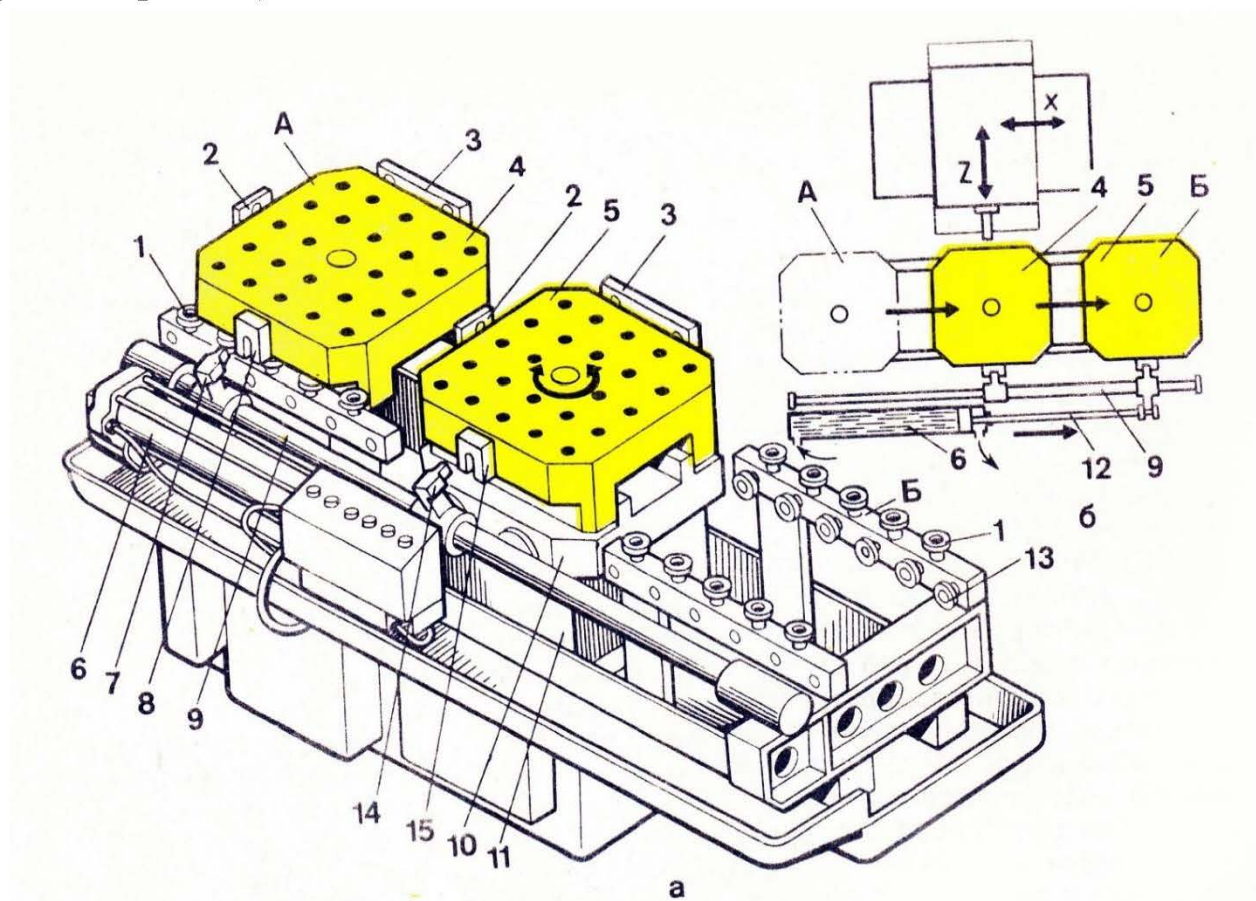


Рис. 4.4. Устройства для автоматической смены спутников

а — на поворотном столе и *б* — на вспомогательном столе:

1, 13 — ролики; 2, 3 — планки; 4, 5 — плиты-спутники; 6 — гидроцилиндр;
7, 14 — захваты; 8, 15 — замки; 9 — каретка; 10 — стол; 11 — станина; 12 — шток

Устройство автоматической смены спутников многоцелевого станка работает следующим образом. На поворотном столе станка и расположенном слева от него вспомогательном столе (рис. 4.4, *а* и *б*) в позиции *А* находятся плиты-спутники 4 и 5 с планками 2 и 3. Справа от стола станка находится позиция *Б* для второго вспомогательного стола.

В процессе обработки заготовки, находящейся на спутнике 5, установленном на столе 10 станка, вторая заготовка находится на спутнике 4, установленном в позиции *А* ожидания обработки.

По окончании обработки заготовки спутник 5 автоматически перемещается в позицию *Б*, а спутник 4 — в позицию *А* на стол станка. Для перемещения спутников с позиций *А* и *Б* на стол станка на вспомогательных столах имеются поддерживающие ролики 13 и направляющие ролики 1. Транспортирующим органом служит гидроцилиндр 6, шток 12 которого связан с кареткой 9 (см. рис. 4.4, *б*).

На концах каретки 9 имеются захваты 7 и 14, которые могут входить в зацепление с замками 8 и 15 спутников. Для этого каретка 9 поворачивается вокруг горизонтальной оси (механизм поворота на рис. 4.4 не показан). Отвод захватов от спутников необходим для поворота спутника вокруг вертикальной оси, когда он находится в рабочей позиции.

Стол 10 станка установлен на жесткой станине 11 и не имеет линейных перемещений по оси *X*, так как они выполняются стойкой станка со шпиндельной бабкой. Раскрепление и съем обработанной заготовки, установка и закрепление очередной заготовки осуществляются поочередно на одном из вспомогательных столов вне рабочей зоны станка.

Устройства, предназначенные для базирования и закрепления спутников на столах станков, показаны на рис. 4.5.

Спутник 1 (рис. 4.5, *а*) базируют по плоскости на поверхность *Б* устройства и двум отверстиям, куда входят два цилиндра фиксаторов 2. Две зажимные планки 3 входят в Т-образные пазы спутника при его подаче на стол станка.

Поршень 8 гидроцилиндров 6, перемещаясь под действием тарельчатых пружин 7, выдвигает рычагами 9 фиксаторы 2, которые входят в отверстия спутника 1. Спутник зажимается двумя планками 3 под действием пружин 4, установленных в четырех гидроцилиндрах 5. Для зажима и фиксации спутника масло поступает в цилиндры 5 и 6.

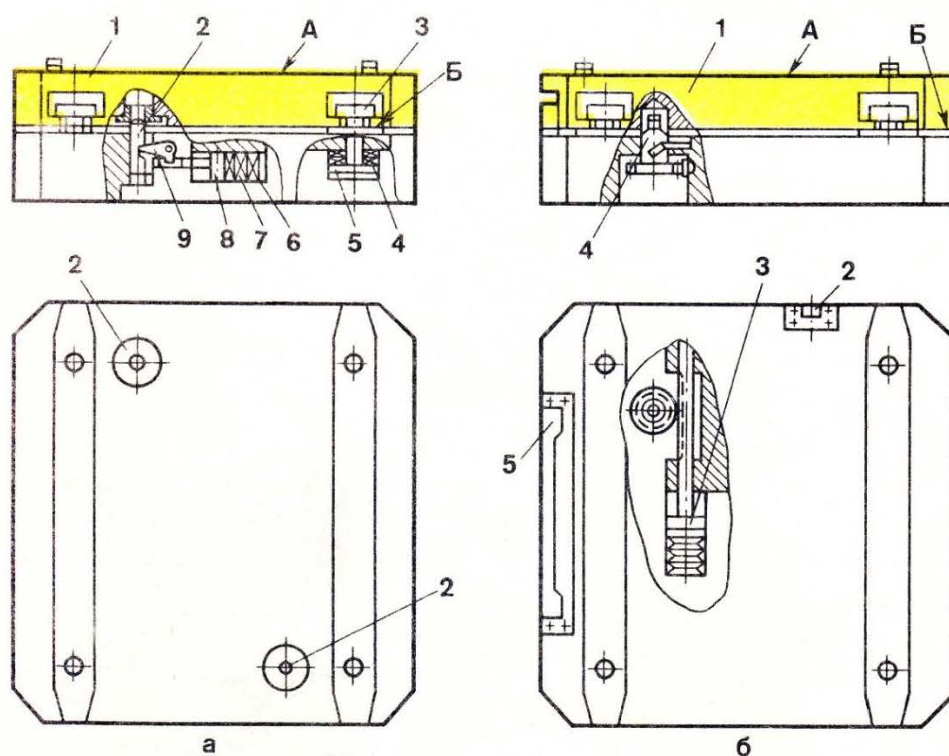


Рис. 4.5. Устройство базирования и закрепления спутников

Базирование спутника (рис. 4.5, б) по двум боковым поверхностям (в координатный угол) осуществляется планками 2 и 5. Устройство автоматической смены спутников подает спутник на базовую поверхность Б. Затем рабочая полость гидроцилиндра 3 сообщается со сливом и поршень, перемещаясь под действием тарельчатых пружин, обеспечивает с помощью байонетного устройства и зубчатоременной передачи выдвижение и разворот эксцентрикового пальца 4, который прижимает спутник к базовым поверхностям планок 2 и 5. Зажим и разжим спутника устройства по рис. 4.5, б происходит так же, как и в конструкции устройства по рис. 4.5, а.

Для работы станков по безлюдной (трудосберегающей) технологии применяют магазины-накопители спутников. Перемещение спутников из магазина на вспомогательный стол или на стол станка осуществляется устройством автоматической смены спутников. Это, помимо того, что уменьшает время простоя станков, обеспечивает и высокую универсальность, поскольку условия базирования, фиксации и зажима на станке остаются неизменными для всей номенклатуры заготовок, установленных на спутнике.

Наиболее распространенными являются кольцевые магазины спутников, которые выполняют поворотными или с перемещением спутников на тележках по кольцевым направляющим магазина.

В этих магазинах спутники могут поступать на станок в любой последовательности. Примером такого магазина может служить поворотный магазин, примененный в ГПМ «Модуль 500» (рис. 4.6, а).

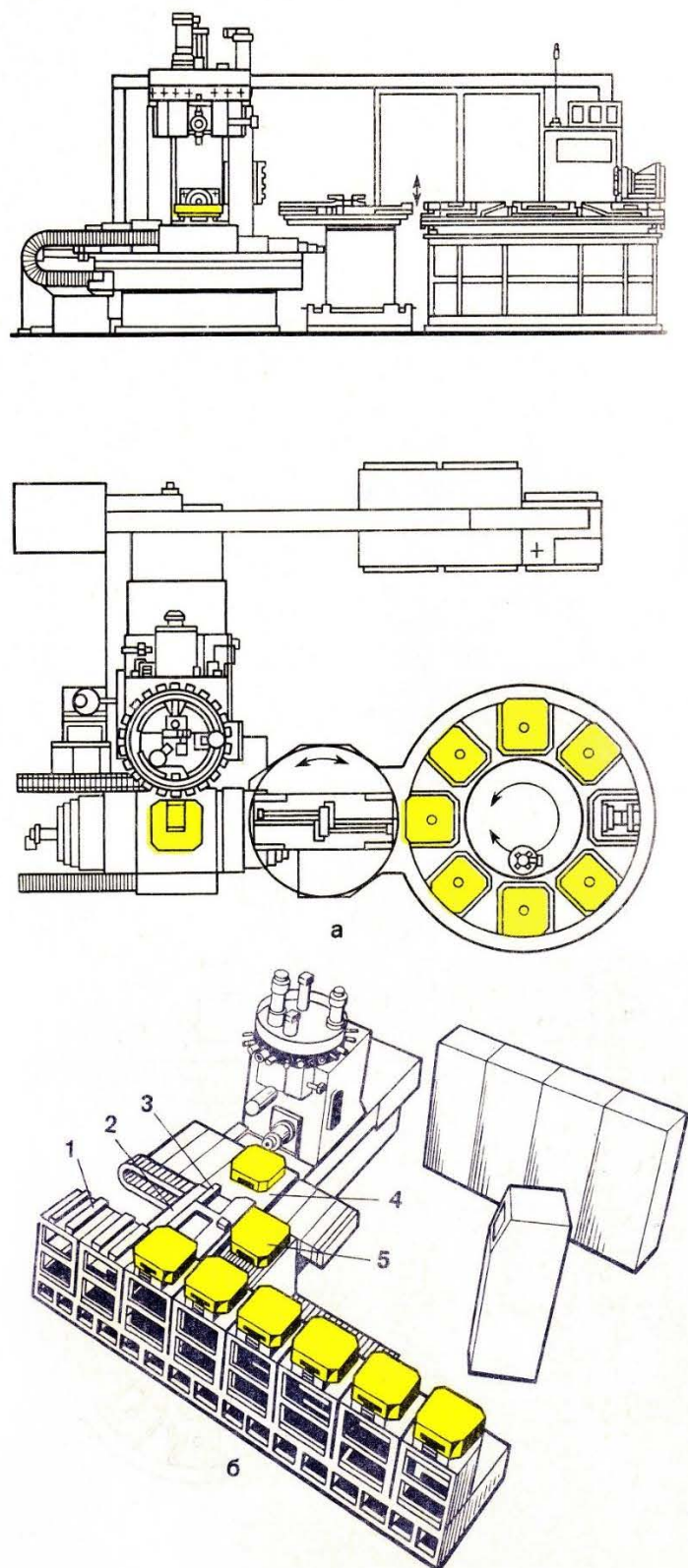


Рис. 4.6. Пристаночные магазины для автоматической подачи спутников-приспособлений:
а — кольцевой; *б* — линейный

Для тяжелых (массой более 800 кг) заготовок применяют неподвижные линейные магазины 1 (рис. 4.6, б) с двухпозиционной тележкой-оператором 2. По окончании обработки заготовки спутник с заготовкой автоматически перемещается в свободную позицию 3 тележки-оператора 2, а с второй позиции 5 (ожидание) тележки-оператора спутник с заготовкой, подлежащей обработке, перемещается на стол 4 станка. Затем спутник с заготовкой из магазина устанавливается на свободную позицию тележки-оператора, а спутник с обработанной заготовкой перемещается из тележки-оператора в магазин 1 спутников.

ГЛАВА 5. СИЛЫ ЗАЖИМА ЗАГОТОВОК В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

5.1. Обрабатываемость материалов заготовок

Стандарт ИСО 513:2012 «Материалы твердые режущие для снятия стружки с определенными режущими кромками. Классификация и применение. Обозначение основных групп по снятию стружки и групп по применению» подразделяет все обрабатываемые материалы на 6 групп. Каждая группа учитывает структуру материала и его уникальные свойства, которые по-разному могут воздействовать на режущую часть инструмента. На рис. 5.1 показано группирование обрабатываемых материалов.

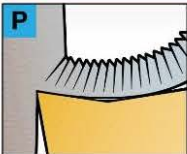
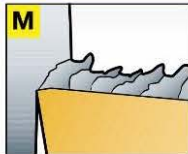
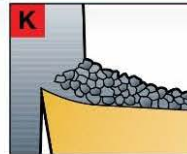
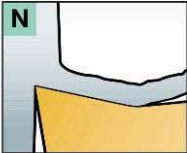
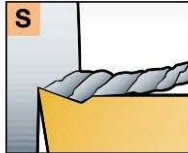
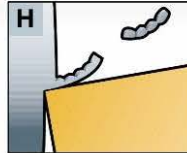
ISO P	Сталь	ISO M	Нержавеющая сталь	ISO K	Чугун
					
ISO N	Алюминий	ISO S	Жаропрочный сплав	ISO H	Материалы высокой твердости
					

Рис. 5.1. Группы обрабатываемых материалов

Группа **P** включает сталь, стальное литье и ковкий чугун, дающий сливную стружку. Из этих материалов изготавливают большинство разнообразных деталей в различных отраслях промышленности.

Группа **M** включает такие материалы как коррозионностойкая сталь мартенситного, аустенитного и ферритного классов, а также марганцовистые стали, легированный и ковкий чугун, автоматные стали.

Группа **K** предполагает использование инструмента, предназначенного для обработки серого, отбеленного и ковкого чугунов, дающих элементную стружку, а также для обработки дерева и пластмасс.

Группа **N** включает алюминиевые сплавы и другие цветные металлы

Группа **S** включает жаропрочные сплавы на железной, никелевой и кобальтовой основе, титан и титановые сплавы.

Группа **H** объединяет материалы высокой твердости такие как стали, закаленные до твердости более HRC48, жаропрочные сплавы и кокильные чугуны.

Основными факторами, влияющими на обрабатываемость материалов, являются:

- металлургические и механические свойства материалов;
- геометрия режущей части инструмента;
- материал режущей части инструмента.

Сочетание этих факторов определяет обрабатываемость того или иного материала. Одним из показателей обрабатываемости служит характер образования стружки (см. рис. 5.1).

Материалы группы **P** дают, как правило, сливную стружку. Однако они существенно различаются внутри группы в зависимости от содержания углерода: а) низкое содержание определяет вязкость материала; б) высокое содержание — хрупкость.

При этом потребляемая мощность P_c при резании материалов внутри группы **P** различаются незначительно.

Материалы группы **M** образуют ступенчатую стружку. Ее вид и свойства зависят от количества легирующих элементов в первую очередь, таких как хром и никель. Внутри группы, в зависимости от марки стали и условий термообработки, дробление стружки может варьироваться от легкого до полной невозможности его обеспечить. Потребляемая мощность P_c при резании материалов группы **M** значительно больше, чем при обработке материалов группы **P**.

Для материалов группы **K** характерна стружка от порошкообразной для серых чугунов и до сливной при резании ковких чугунов. Силы резания и потребляемая мощность при резании материалов группы **K** значительно меньше, чем при обработке материалов группы **P**. То же самое можно сказать про материалы группы **N**.

Другие группы обладают столь разнообразными свойствами, что обобщить сведения о силах резания и потребляемой мощности при их резании затруднительно. Однако можно сказать, что для группы материалов **S** с учетом используемых режимов резания потребляемая мощность не превышает значения, характерные для материалов группы **P**.

Для материалов группы **H** характерна сливная раскаленная стружка, а силы резания многократно превышают уровень сил резания, возникающие при обработке материалов группы **P**.

Однако из-за нагрева поверхностного слоя закаленной стали отделение стружки облегчается и обрабатываемость материалов группы **H** улучшается, что

позволяет при соответствующем подборе режимов резания снизить потребляемую мощность до максимального уровня при обработке материалов группы *P*.

Таким образом, к числу показателей, определяющих сущность термина «обрабатываемость резанием», относятся:

- сила резания (момент вращения), которую сравнивают с эталонным материалом (например, со сталью 45), измеренная в равных условиях;
- эффективная мощность, затрачиваемая на резание по сравнению с эталонным материалом в равных условиях.

В научных целях количественные значения этих показателей для нового обрабатываемого материала определяют, связывая их с твердостью, пределом прочности, относительным удлинением и теплопроводностью обрабатываемого материала, а также с характеристиками трения в паре с инструментальным материалом и с сопротивлением изнашиванию лезвия инструмента и т.д.

В реальных производственных условиях перечисленные свойства обрабатываемого материала имеют большой разброс из-за непостоянства химического состава и неоднородности микроструктуры.

Характеристики процесса резания, отражающие физические явления в зоне стружкообразования, зависят от стабильности режима резания и износа инструмента, что не позволяет сопоставлять обрабатываемости эталонного и нового обрабатываемого материала по стойкости инструмента.

Для определения основных сил, возникающих при резании материалов, необходимо оценить основные параметры режущего инструмента и факторы процесса удаления стружки при обработке заготовок. Для этого обратимся к международным обозначениям этих параметров и факторов.

При точении в результате вращения заготовки и перемещения режущей части инструмента по заданной траектории относительно заготовки основное значение имеют следующие факторы.

Скорость перемещения V_c (м/мин) заготовки относительно режущей части инструмента называется скоростью резания (рис. 5.2).

Скорость резания V_c зависит от величины диаметра обработки D_m (мм) и частоты вращения n (мин⁻¹) шпинделя станка. За один оборот заготовки при $n = 1$ режущая часть инструмента снимает стружку на пути резания толщиной C (мм):

$$C = \pi \times D_m \quad (5.1)$$

За n оборотов в минуту скорость резания составляет:

$$V_c = \pi \times D_m \times n / 1000 \quad (5.2)$$

где коэффициент 1000 в знаменателе нужен для перевода в метры значений размеров диаметров в мм.

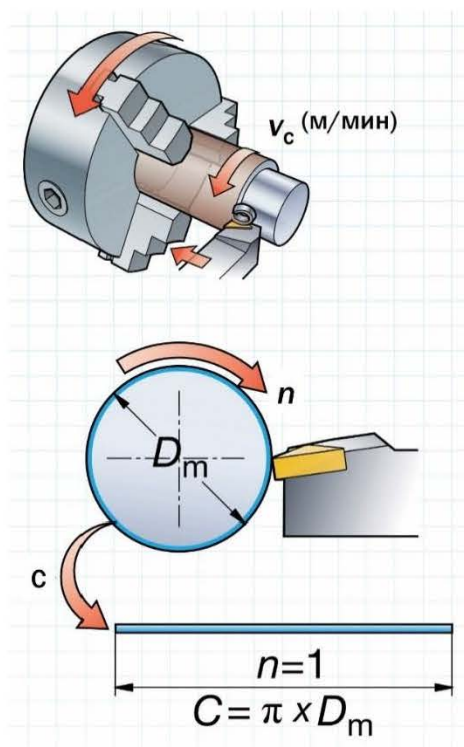


Рис. 5.2. Определение скорости резания V_c

Другими важными факторами процесса точения являются подача f_n и глубина резания a_p (мм). Подачу можно определить как расстояние вдоль оси вращения заготовки, на которое режущая часть инструмента перемещается за один оборот заготовки (рис. 5.3).

Ранее в отечественных руководствах по режимам резания подачи обозначались буквой S , а глубина резания — буквой t .

При выборе подачи f_n (мм/об) учитывают ее влияние на шероховатость обработанной поверхности и форму стружки.

Глубина резания a_p (мм) — половина разницы между диаметром обработанной поверхности и диаметром заготовки в направлении, перпендикулярном направлению подачи.

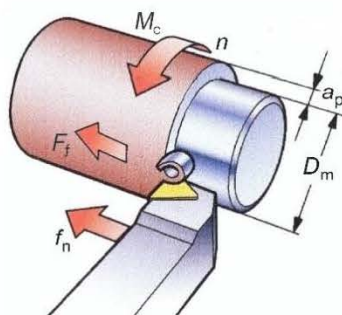


Рис. 5.3. Подача f_n , глубина резания a_p при продольном точении и сила подачи F_f при подрезке торца

Правильный выбор геометрии режущей части токарных резцов определяет эффективность процесса точения. В первую очередь необходимо выбрать главный угол в плане κ_r (рис. 5.4). Ранее этот угол обозначался буквой ϕ .

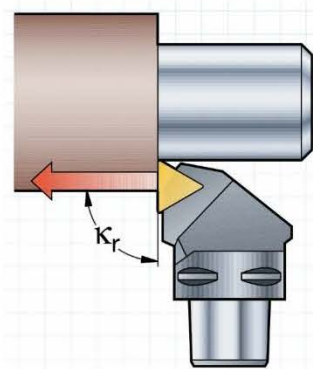


Рис. 5.4. Определение главного угла в плане κ_r

Главный угол в плане κ_r измеряется между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость (например, опорную плоскость призматической державки резца) и направлением подачи, так же, как и от глубины резания a_p , от величины главного угла в плане κ_r зависит форма стружки и соответствующая сила подачи F_f (рис. 5.5).

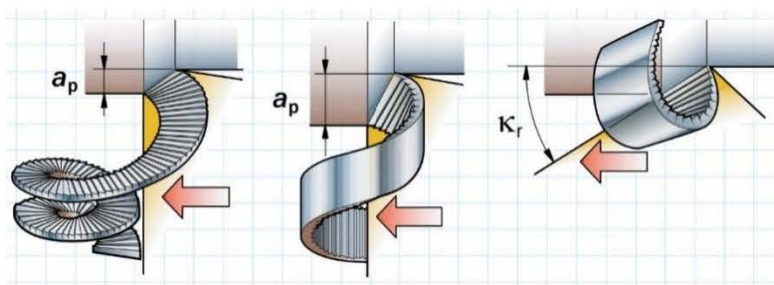


Рис. 5.5. Вид стружки в зависимости от глубины резания a_p и величины главного угла в плане κ_r

Также на результаты процесса точения оказывают большое влияние такие геометрические параметры режущей части, как передний угол γ и угол наклона режущей кромки λ .

При фрезеровании частота вращения шпинделя n — это число оборотов фрезерного инструмента, совершаемое за минуту, а скорость резания V_c — окружная скорость, с которой режущая кромка врезается в заготовку. Её рассчитывают по номинальному диаметру фрезы D_c . Для расчета эффективной скорости резания V_e используют понятие эффективного диаметра резания D_e , когда $D_e > D_c$ с учетом глубины резания a_p (рис. 5.6).

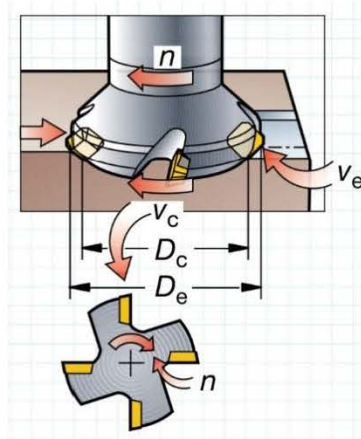


Рис. 5.6. Скорости резания (м/мин), диаметры инструмента (мм) и частота вращения шпинделя (мин⁻¹)

Подача на зуб f_z (мм/зуб) используется для расчета минутной подачи при фрезеровании и определяется, исходя из рекомендованных значений максимальной толщины стружки.

Скорость подачи (например, подачи стола) V_f (мм/мин) или минутная подача — это скорость движения инструмента относительно заготовки, измеряемая в пройденном пути за единицу времени. Зависит от подачи на зуб f_z и числа z_n зубьев (режущих кромок) фрезы:

$$V_f = f_z \times z_n \times n. \quad (5.3)$$

Число z_n режущих кромок фрезы может быть больше, чем эффективное число зубьев z_c , поэтому для определения скорости подачи V_f используют эффективное число зубьев z_c (рис. 5.7).

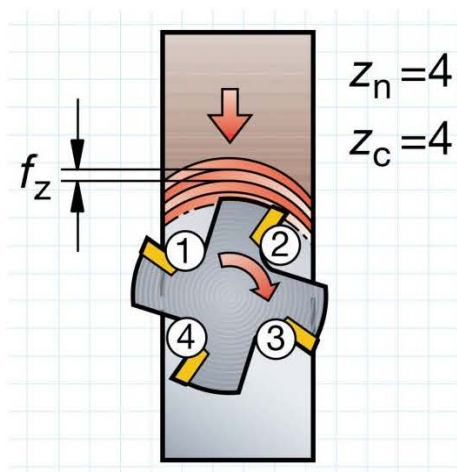


Рис. 5.7. Подача на зуб f_z и число зубьев z_n и z_c фрезы

Подача на оборот f_n используется для расчета минутной подачи V_f и является определяющим ограничивающим параметром при назначении режимов чистового фрезерования и определения силы подачи F_f (рис. 5.8).

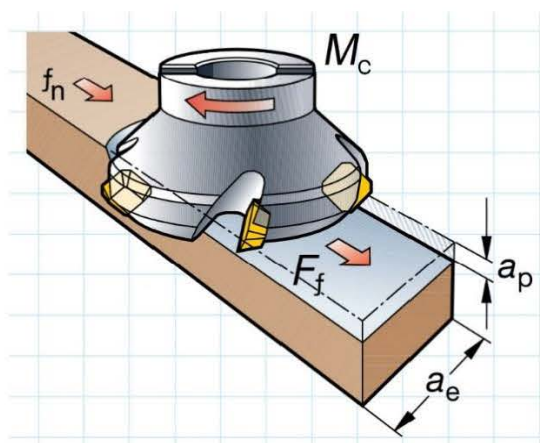


Рис. 5.8. Глубина a_p и ширина a_e резания, подача на зуб f_z и сила подачи F_f столом при фрезеровании

Глубина фрезерования a_p (мм) показывает, сколько материала удаляется с заготовки торцом фрезы, и определяется как расстояние между обработанной и необработанной поверхностями, измеренное вдоль оси фрезы. Ширина фрезерования a_e (мм) — величина срезаемого припуска, измеряемая в направлении радиуса фрезы, то есть это — длина стороны сечения срезаемого слоя.

На рис. 5.9 условно показаны потребляемая мощность P_c , крутящий момент M_c и сила подачи F_f при плунжерном фрезеровании.

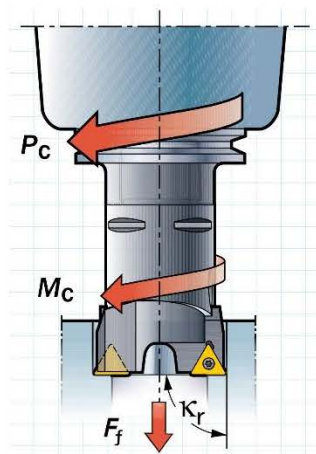


Рис. 5.9. Потребляемая мощность P_c , крутящий момент M_c и сила подачи F_f при плунжерном фрезеровании

Потребляемая мощность P_c (кВт) — это характеристика станка, позволяющая оценить возможность выполнения данного типа перехода на данном типе приспособления.

$$P_c = a_p \times a_e \times V_f \times k_{cl.1} / 60 \times 10^6, \quad (5.4)$$

где $k_{cl.1}$ — удельная сила резания в Н/мм².

Крутящий момент M_c (Н·м) передается от шпинделя станка инструменту в процессе обработки

$$M_c = 30P_c \times 10^3 / \pi \times n. \quad (5.5)$$

Удельная сила резания $k_{cl.1}$ (Н/мм²) — это характеристика обрабатываемого материала.

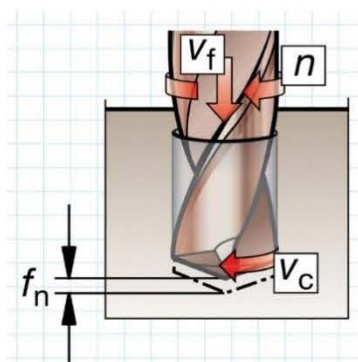


Рис. 5.10. Факторы обработки отверстий осевым инструментом

При обработке отверстий (рис. 5.10) скорость резания V_c (м/мин) определяется по зависимости:

$$V_c = \pi \times D_c \times n / 1000, \quad (5.6)$$

где D_c — диаметр инструмента, мм; n — частота вращения инструмента, мин^{-1} .

Производительность обработки отверстий осевым инструментом зависит от величины минутной подачи V_f (мм/мин):

$$V_f = f_n \times n, \quad (5.7)$$

где f_n (мм/об) — подача инструмента вдоль оси за один оборот.

Потребляемая мощность P_c (кВт) при сверлении рассчитывается по приближенной зависимости:

$$P_c = f_n \times V_c \times D_c \times k_{c1.1} / 240 \times 10^3. \quad (5.8)$$

Крутящий момент M_c (Н·м) при сверлении спиральными сверлами рассчитывается по зависимости:

$$M_c = P_c \times 30 \times 10^3 / \pi \times n. \quad (5.9)$$

Усилие подачи F_f (Н) при сверлении (рис. 5.11) рассчитывается по зависимости:

$$F_f = 0,25 \times D_c \times k_c \times f_n \times \sin \kappa_r, \quad (5.10)$$

где κ_r — угол при вершине спирального сверла (например, $\kappa_r = 118^\circ$).

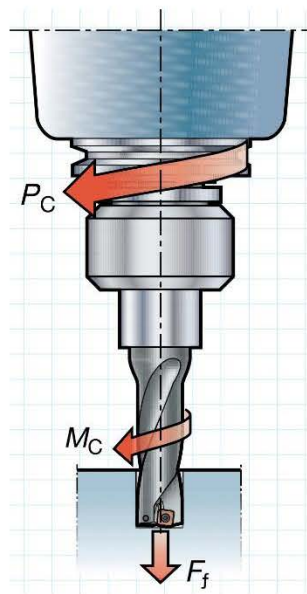


Рис. 5.11. Потребляемая мощность P_c , крутящий момент M_c и сила подачи F_f при сверлении спиральными сверлами

При рассверливании, зенкеровании, развертывании и растачивании (рис. 5.12) учитывается величина припуска на обработку (глубина) a_p (мм).

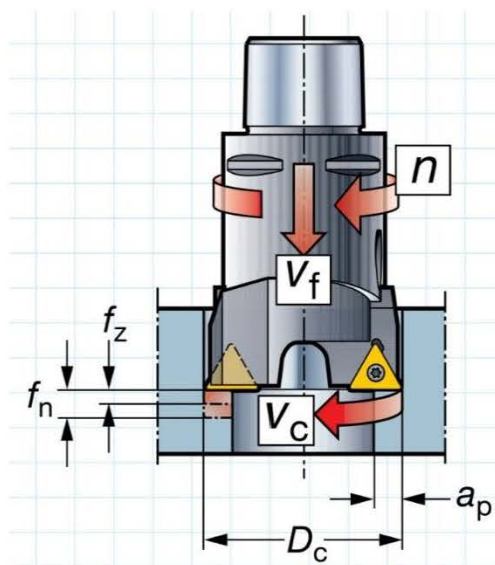


Рис. 5.12. Факторы процесса растачивания

Потребляемая мощность P_c (кВт) при растачивании определяется с учетом всех факторов этого процесса по зависимости:

$$P_c = a_p \times f_n \times V_c \times k_{cl.1} (1 - a_p / D_c) / 60 \times 10^6, \quad (5.11)$$

где $k_{cl.1}$ — удельная сила резания в Н/мм².

Крутящий момент M_c (Н·м) при рассверливании, зенкеровании, развертывании и растачивании определяется как величина момента вращения инструмента в процессе резания:

$$M_c = P_c \times 30 \times 10^3 / \pi \times n. \quad (5.12)$$

В общем виде, исходя из определения мощности, можно определить силу, которой противодействует сила зажима, как силу подачи F_f (Н):

$$F_f = P_c / V_c. \quad (5.13)$$

Такой подход допустим из-за принятия больших коэффициентов запаса при расчете сил зажима заготовок в приспособлениях, а также с учетом того, что расчеты по степенным зависимостям из справочников дают также большую погрешность.

Другими важными обстоятельствами предлагаемого подхода являются:

– необходимость определять силы зажима в приспособлении с учетом смены материала заготовок в условиях многономенклатурного единичного производства;

– систематическое обновление марок материалов, за которым не успевают обновляться справочные издания.

Согласно ряду рекомендаций (например, рекомендации VDI 3323) обрабатываемость материала следует характеризовать эффективной мощностью P_c , затрачиваемой на процесс резания. Для упрощения расчета величины P_c для каждой группы обрабатываемости (см. рис. 5.1) определяется коэффициент $k_{c1.1}$, который представляет собой силу резания F_c , необходимую для срезания стружки толщиной $a_p = 1$ мм.

Значения коэффициента $k_{c1.1}$ для материалов по группам обрабатываемых материалов находятся в диапазоне 350–4870 Н/мм².

При других толщинах стружки a_p используется показатель степени m_c для вычисления коэффициента удельной силы резания k_c , который имеет размерность в Н/мм².

$$k_c = k_{c1.1} \times a_p - m_c. \quad (5.14)$$

Значения коэффициента $k_{c1.1}$ для материалов по группам обрабатываемых материалов приведены на рис. 5.13.

Сила резания при других толщинах стружки a_p рассчитывается по формуле:

$$F_c = k_c \times a_p \times f_n. \quad (5.15)$$

Эффективная мощность, расходуемая на резание, рассчитывается по формуле:

$$P_c = a_p \times f_n \times V_c \times k_c / (6 \times 10)^3, \quad (5.16)$$

где a_p — глубина резания, мм; f_n — подача, мм/об.; V_c — скорость резания, м/мин.

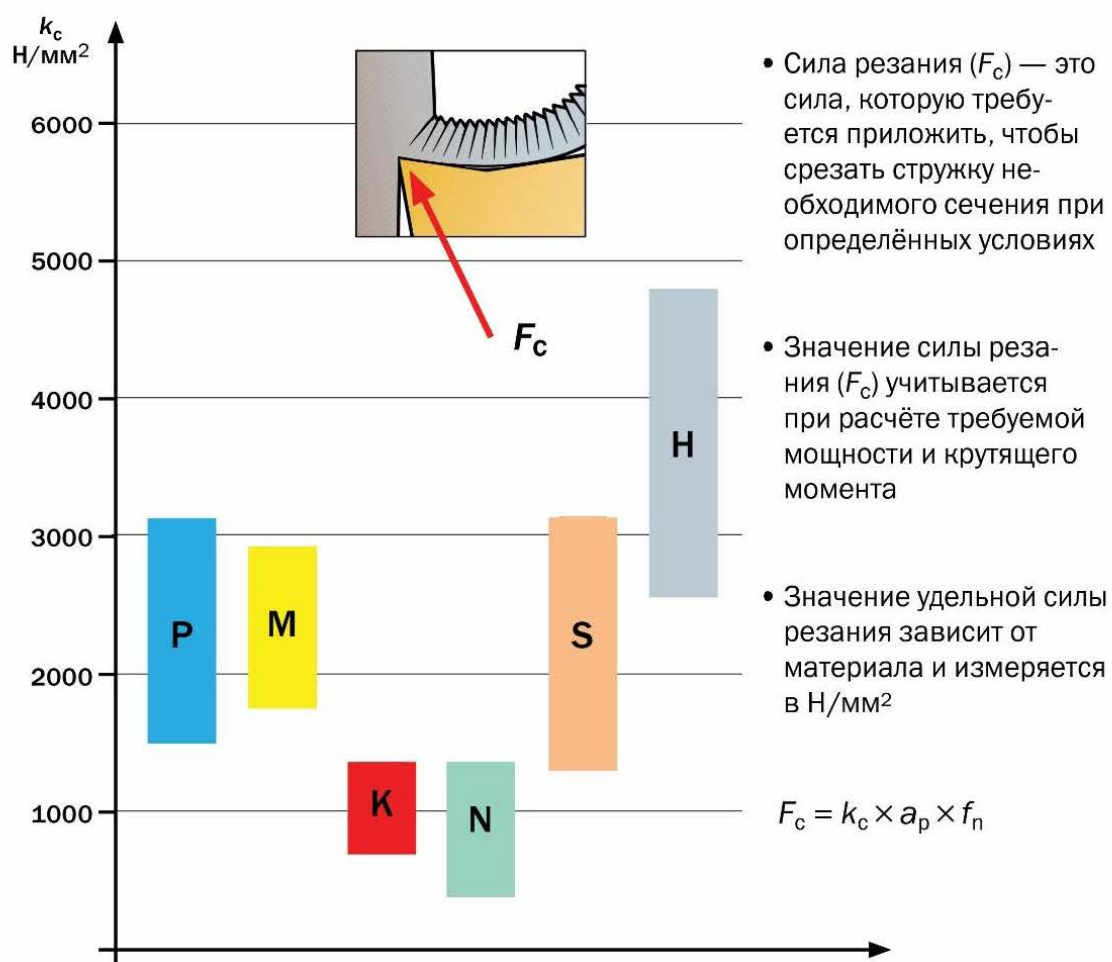


Рис. 5.13. Значения коэффициента k_c для материалов по группам обрабатываемых материалов

В табл. 5.1 показано соответствие групп резания и групп обрабатываемости обрабатываемых по VDI 3323 с примерами типовых марок материалов по отечественному марочнику.

Диапазоны значений коэффициента удельной силы резания k_c (Н/мм²):

- для группы **P** — 1500–3100;
- для группы **M** — 1800–2850;
- для группы **K** — 790–1350;
- для группы **N** — 350–1350;
- для группы **S** — 1300–3100;
- для группы **H** — 2550–4870.

Таблица 5.1

**Соответствие групп резания и групп обрабатываемости
обрабатываемых материалов по VDI 3323 и типовых
отечественных марок сталей, чугунов и сплавов материалов**

Группа резания	Обрабатываемый материал	Группа обрабатываемости по VDI 3323	Типовые мар- ки
<i>P</i>	Углеродистые (нелегированные) стали	2/3	45
	Легированные стали	6/7	18ХГТ
	Ферритные стали	12/13	12Х13
	Легированные инструментальные стали	6/9	ХВГ
	Легированное стальное литье	2/3	35ГЛ
	Литье из ферритных и мартенситных сталей	12/13	12Х17
<i>M</i>	Аустенитные и ферритно-мартенситные коррозионностойкие стали	14/1	10Х23Н18
	Стали немагнитные и износостойкие	14/1	17Х18Н9
<i>K</i>	Серый чугун (нелегированные и легированный)	15/16	СЧ 25
	Чугун с шаровидным графитом (высокопрочный)	17/18	ВЧ42-12
	Ковкий чугун	19/12	КЧ35-10
<i>N</i>	Цветные металлы	24/25	-
	Сплавы Al	22/23	АЛ30
	Сплавы Cu	26/27	Л70
<i>S</i>	Жаропрочные сплавы	33	ХН78Т
	Жаростойкие стали	35	ХН73МБПО-В1
	Титановые сплавы	37	ВТ6
<i>H</i>	Особопрочные сплавы	38	110Г13
	Термообработанные стали (48–60 HRC)	39	–
	Упрочненные (кокильные) чугуны	40	–

Из сказанного следует вывод, что в многономенклатурном производстве расчет станочных приспособлений для закрепления заготовок и инструмента должен вестись с учётом обработки тех деталей, материал которых имеет наибольший коэффициент k_c удельной силы резания. В табл. 5.2 приведены значения коэффициентов $k_{cl.1}$ и показателей степени m_c .

Таблица 5.2

Значения коэффициентов $k_{cl.1}$ и показателей степени m_c

Группа резания	Обрабатываемый материал	$k_{cl.1}$	m_c
<i>P</i>	Углеродистые (нелегированные) стали	1350	0,21
	Легированные стали	1800	0,24
	Ферритные стали	1900	0,24
	Легированные инструментальные стали	1900	0,24
	Легированное стальное литье	2000	0,24
	Литье из ферритных и мартенситных сталей	2900	0,22
<i>M</i>	Аустенитные и ферритно-мартенситные коррозионностойкие стали	2050	0,20
	Стали немагнитные и износостойкие	2150	0,20
<i>K</i>	Серый чугун (нелегированные и легированный)	1150	0,22
	Чугун с шаровидным графитом (высокопрочный)	1350	0,20
	Ковкий чугун	1470	0,30
<i>N</i>	Сплавы Al	700	0,25
	Сплавы Cu	700	0,27
<i>S</i>	Жаропрочные сплавы	2600	0,24
	Жаростойкие стали	3300	0,24
	Титановые сплавы	1460	0,23
<i>H</i>	Особопрочные сплавы	4800	0,20
	Термообработанные стали (48–60 HRC)	3700	0,21

5.2. Силы зажима заготовок при точении, сверлении и фрезеровании

Обрабатываемая заготовка находится в равновесии вследствие действия сил как возникающих в процессе обработки, так и зажима и реакции опор. Основными силами процесса обработки являются силы резания. При расчете сил зажима также учитываются силы веса, центробежные и инерционные, возникающие при условиях с высокой частотой вращения заготовки.

Величина сил зажима рассчитывается исходя из условия равновесия всех перечисленных сил при полном сохранении контакта базовых поверхностей обрабатываемой детали с установочными элементами приспособления и при исключении возможности сдвига в процессе обработки. При расчетах следует определять требуемую силу зажима с учетом коэффициента запаса k , предусматривающего возможное увеличение силы резания из-за затупления режущего инструмента, неоднородности обрабатываемого металла, неравномерности припуска, непостоянства установки, ненадлежащего закрепления заготовки и т.д.

Зажимные устройства приспособлений должны быть такими, чтобы:

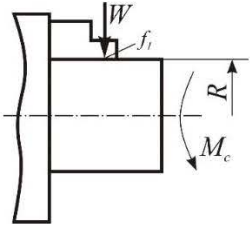
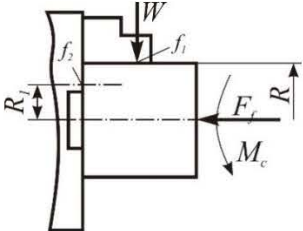
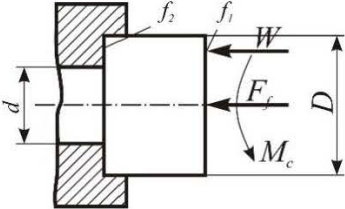
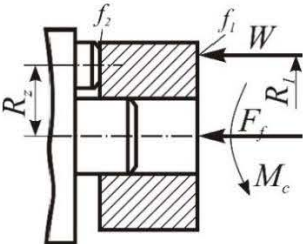
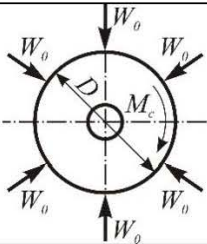
- при зажиме не нарушалось заданное положение детали;
- приложение силы зажимы было как можно ближе к месту обработки;
- точка приложения силы зажима находилась в зоне, образованной условными линиями, соединяющими опорные точки детали в приспособлении;
- зажимы не вызывали деформации деталей и порчи их поверхностей;
- закрепление и открепление обработанной детали производилось с минимальной затратой сил и времени рабочего;
- силы резания по возможности не воздействовали на зажимные устройства;
- при закреплении недостаточно жестких деталей силы зажима располагались над опорами или близко к ним.

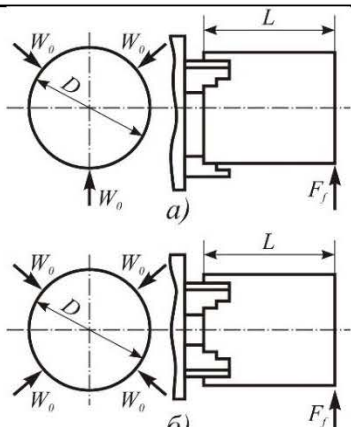
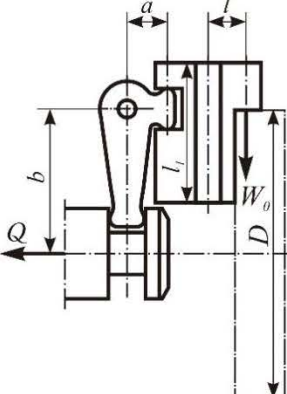
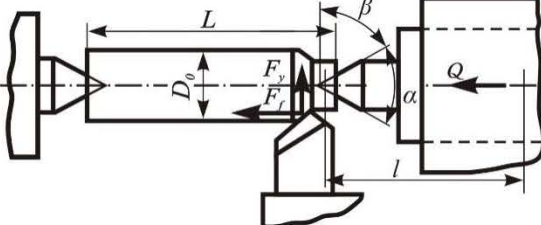
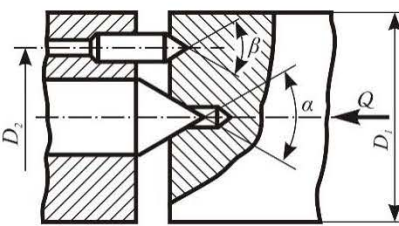
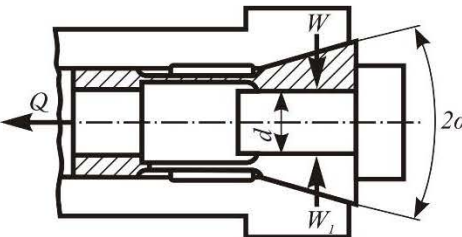
Расчет сил зажима может быть сведен к задаче статики на равновесие заготовки под действием приложенных к ней внешних сил. При расчете определяют место их приложения и направления, а также следующие величины.

1. Силу подачи F_f и момент M_c , действующие на обрабатываемую заготовку, а при необходимости — инерционные и центробежные силы, возникающие при обработке;

2. Силу зажима W , рассчитанную с учетом силы подачи F_f и момента M_c и умноженную на коэффициент запаса k . Формулы для определения сил зажима приведены в табл. 5.3–5.5.

**Сведения для расчета сил зажима W заготовок
при обработке на токарных станках**

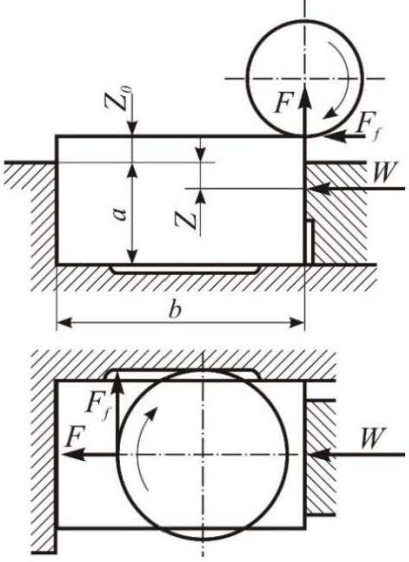
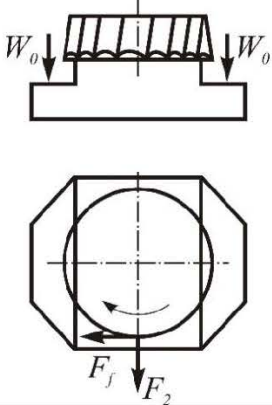
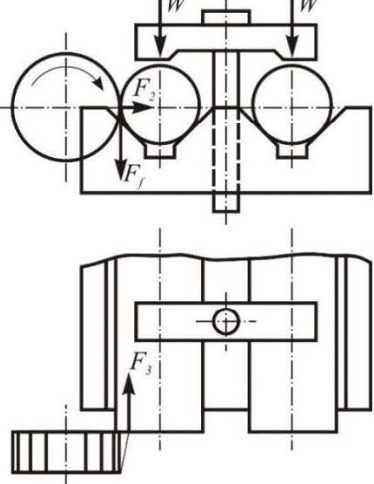
Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Предотвращение проворачивания от действия кру- тящего момента M_c		$W = \frac{kM_c}{3f_1R}$
Предотвращение проворачивания и сдвига от дей- ствия крутящего момента M_c и осевой силы F_f		$W = \frac{kM_c + f_2R_2F_f}{3f_1R - 3f_1f_2R_1}$
Предотвращение проворачивания и сдвига от дей- ствия крутящего момента M_c и осевой силы F_f при нормативной податливости приспособления		$W = \frac{kM - f_2R_{np}F_f}{f_1R_1 + f_2R_{np}}$ где $R_{np} = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$
Предотвращение проворачивания и сдвига от дей- ствия крутящего момента M_c и осевой силы F_f при нормативной податливости приспособления		$W = \frac{kM_c - f_2R_2F_f}{f_1R_1 + f_2R_2}$
Для крепления коротких деталей в кулачковом патроне		$W_0 = \frac{2kM_c}{\pi fD}$

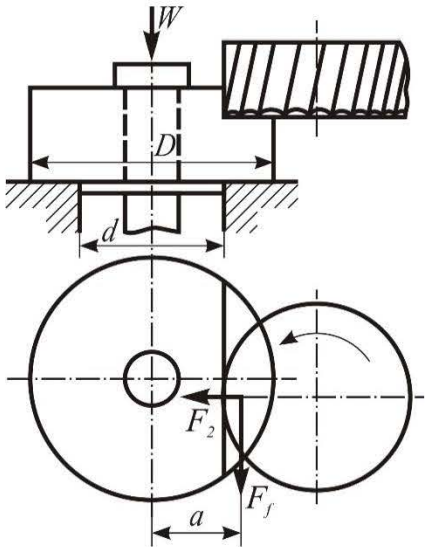
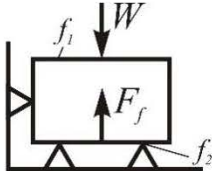
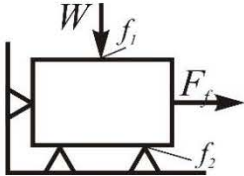
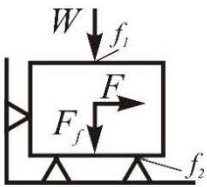
Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Для крепления длинных деталей в кулачковом патроне		а) в 3-кулачковом патроне: $W_0 = \frac{1,33kLF_f}{fD};$ б) в 4-кулачковом патроне: $W_0 = \frac{0,7kLF_f}{fD}$
Для крепления коротких деталей в кулачковом патроне с рычажным приво- дом		$Q = nk_1 \left(1 + \frac{3l}{l_1} f_1\right) \frac{a}{b} W_0 \frac{D_1}{D}$ В 3-кулачковом патроне: $W_0 = \frac{1,33kLF_f}{fD}$
Для крепления длинных деталей в центрах		$Q = \frac{k \sqrt{F_f^2 + \left(F_y - F_f \frac{D_0}{2l}\right)^2}}{1 - \operatorname{tg}(\beta + \varphi_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \frac{3l}{\alpha}}$
Для крепления длинных деталей в центрах с по- водковым устройством		$Q \geq \pi F_f \times \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} \frac{D_1}{D_2}$ где Q — усилие, необходимое для внедрения поводков в торец детали
Для крепления деталей или прутка в цанго- вом патроне без упора		$Q = (W + W_1) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)$ $W = \frac{k}{f} \sqrt{\frac{4M_c^2}{d^2} + F_f^2}$ $W_1 = \frac{3EI}{l^3}$ где E — модуль упругости материала цанги; I — момент инерции сечения лепестка цанги; l — вылет лепестка цанги от заделки до середины конуса

Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Для крепления деталей в цен- трах с упором, ограничивающим перемещение детали		$Q = (W + W_1) [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2]$
Для крепления деталей на ци- линдрических оправках с натя- гом		$W = \frac{0,64 k M_c}{d^2 l_k f}$
Для крепления деталей на ци- линдрических оправках с гаран- тированным за- зором		$W = Q = \frac{3,8 k M_c (D^2 - d^2)}{f (D^3 - d^3)}$

Примечания. Буквы в формулах обозначают: F_f , F_y — составляющие сил резания; D — диаметр детали; L — длина детали; β — угол между образующей конуса у центра задней бабки и осью резца, $\beta = 90^\circ - \alpha$; α — угол при вершине центра; φ_1 — угол трения на поверхности конуса центра, $\varphi_1 = 3^\circ$; φ_2 — угол трения на поверхности пиноли, $\varphi_2 = 3^\circ$; l — расстояние от середины центрального гнезда до середины пиноли, мм; ρ_1 — угол при вершине поводка и при вершине сечения углубления град; D_2 — диаметр окружности поводков; k — коэффициент запаса. Для кулачков с гладкой поверхностью $f = 0,25$; с кольцевыми канавками $f = 0,35$; с крестообразными канавками $f = 0,45$; с односторонне нарезанными зубьями параллельно оси патрона $f = 0,8$. D_1 — диаметр обрабатываемой поверхности; d — диаметр зажимной поверхности; l_k — длина контакта; f_1 — коэффициент трения в направляющих кулачков $f_1 = 0,10-0,15$; l_1 — длина кулачка.

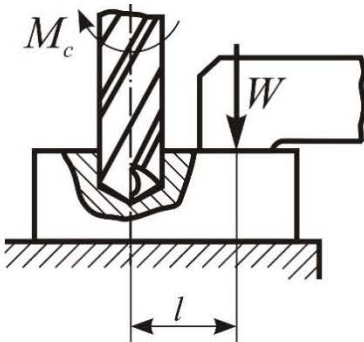
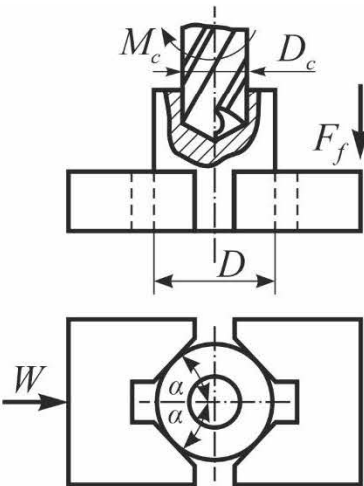
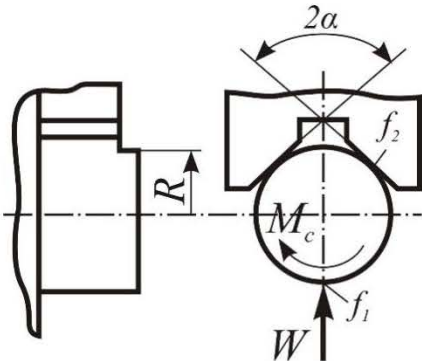
**Сведения для расчета сил зажима W
заготовок при фрезеровании**

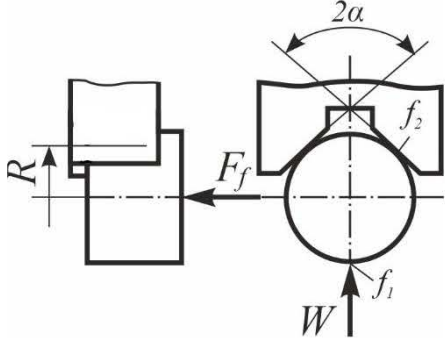
Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Для крепления призматических заготовок в тисках		$W = k \frac{F(b + af) + F_f z_0}{af^2 + bf + z}$
Для крепления призматических заготовок при хватами		$W = W_0 n = \frac{k}{f} \sqrt{F_f^2 + F_2^2}$
Для крепления призматических заготовок в призмах		$W = \frac{k}{f} \cdot \sin \alpha \sqrt{F_f^2 + F_2^2 + F_3^2}$

Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Для крепления деталей с отверстием центральным торцовым прихватом		$W = \frac{\alpha \sqrt{F_f^2 + F_z^2}}{f \cdot \frac{D^3 - d^3}{3 \cdot D^2 - d^2}}$
Предотвращение отрыва от действия силы F_f		$W = k F_f \frac{j_2}{j_1 + j_2}$
Предотвращение сдвига от действия силы F_f		$W = \frac{k F_f}{f_1 + f_2}$
Предотвращение сдвига от действия сил F_f и F		$W = \frac{k_2 F + f_1 F_f \frac{j_1}{j_1 + j_2} - f_2 F_f \frac{j_2}{j_1 + j_2}}{f_1 + f_2}$

Примечания. Буквы в формулах обозначают: F_t, F_2, F_3 — составляющие усилия резания; f — коэффициент трения на рабочих поверхностях зажимов: для гладких поверхностей $f = 0,25$; с крестообразно нарезанными канавками $f = 0,45$; k — коэффициент запаса; n — число прихватов; 2α — угол призмы, град; R — радиус детали в месте зажима; R_1 — средний радиус расположения площади контакта; f_1 — коэффициент трения с установочными элементами; f_2 — коэффициент трения с зажимными элементами; $f_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент трения; j_1 — контактная жесткость стыка зажимного элемента и детали; j_2 — контактная жесткость стыка установочного элемента и детали; $j_1 / (j_1 + j_2) = 0,3-0,4$; $j_2 / (j_1 + j_2) = 0,6-0,7$ — приближенные значения контактной жесткости стыков.

**Сведения для расчета сил зажима W заготовок
при сверлении и растачивании**

Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
При креплении заготовки прихватом		$W = \frac{kM_c}{fl}$
При креплении заготовки в призмах		$W = \frac{kM_c \sin \alpha}{fD}$
Предотвращение проворачивания от действия крутящего момента M_c		$W = \frac{kM_c}{R(f_1 + f_{np})}$

Назначение зажимного устройства	Схема закрепления	Расчетная формула
Предотвращение сдвига под действием осевой силы F_f		$W = \frac{kF_f}{f_1 + f_2}$

Примечания. Буквы в формулах обозначают: M_c — крутящий момент на сверле; f_1 и f_2 — коэффициент трения на рабочих поверхностях: для гладких поверхностей $f = 0,25$, с крестообразно нарезанными канавками $f = 0,45$; 2α — угол призмы, град; k — коэффициент запаса.

Зажимные устройства делятся на две группы [2] по надежности. К первой группе относятся зажимные устройства, имеющие самотормозящие механизмы (винтовые, клиновые, эксцентриковые и т.п.). В случае резкого возрастания силы подачи, силы, раскрепляющие заготовку, пропорциональны силе подачи и поэтому не происходит нарушения контакта зажимного устройства с заготовкой.

Во вторую группу входят пневматические, гидравлические, пневмогидравлические и другие механизмы прямого действия, не обладающие самотормозящими свойствами. При резком возрастании силы подачи происходит нарушение контакта таких зажимных устройств с заготовкой, что может привести к ее перемещению.

Поэтому надо рассчитывать силу зажима с учетом принадлежности зажимного устройства к одной из указанных групп устройств [5].

В общем виде усилие равновесия детали в приспособлении, возникающее под действием сил резания и сил зажима, может быть представлено в виде формулы:

$$W = k \times f \times F_f \quad (5.17)$$

где k — коэффициент запаса; f — коэффициент трения в местах контакта детали и приспособления, F_f — усилия резания.

Коэффициент k рассчитывается применительно к конкретным условиям обработки как произведение коэффициентов:

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 \quad (5.18)$$

где $k_0 = 1,5$ — гарантированный коэффициент запаса для всех случаев; k_1 — коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовок, для черновой заготовки $k_1 = 1,2$, для чистовой заготовки $k_1 = 1,0$; k_2 — коэффициент, учитывающий увеличение сил резания от прогрессирующего затупления инструмента, значения приведены в табл. 5.6; k_3 — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании, при точении и торцовом фрезеровании $k_3 = 1,2$; k_4 — коэффициент, учитывающий постоянство силы зажима, развиваемой силовым приводом приспособления. Для ручных устройств силы закрепления непостоянны и для них можно принимать $k_4 = 1,3$.

При наличии пневматических и гидравлических зажимных устройств прямого действия $k_4 = 1,0$. Если допуск на размер заготовки влияет на силу закрепления, что имеет место при использовании пневмокамер, пневморычажных систем, мембранных патронов и других устройств, $k_4 = 1,2$.

Коэффициент k_5 характеризует удобство расположения рукояток в ручных зажимных устройствах. При удобном положении рукоятки и малом диапазоне угла ее поворота $k_5 = 1,0$; при большом диапазоне (более 90°) $k_5 = 1,2$. Коэффициент k_6 учитывается только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку. Если заготовка установлена базовой плоскостью на опоры с ограниченной поверхностью контакта, то $k_6 = 1,0$.

Если заготовка установлена на планки или другие элементы с большой поверхностью контакта, то k_6 принимается равным до 1,5. А в этом случае макронеровности на базовой поверхности заготовки вызывают неопределенность положения мест контакта относительно центра поворота заготовки.

Таблица 5.6

Значения коэффициента k_2

Метод обработки	Компоненты сил резания	Значения	
		для чугуна	для стали
Сверление	M_c	1,20	1,40
	F_f	1,10	1,60
Зенкерование предварительное	M_c	1,30	1,40
	F_f	1,20	1,60
Зенкерование чистовое	M_c	1,20	
	F_f	1,20	
Предварительное точение и растачивание	M_c	1,20	1,40
	F_f	1,25	1,60

Метод обработки	Компоненты сил резания	Значения	
		для чугуна	для стали
Чистовое точение и растачивание	M_c	1,05	1,05
	F_f	1,30	1,00
Фрезерование предварительное и чистовое цилиндрической фрезой	M_c	1,20–1,40	1,60–1,80
	F_f	1,20–1,40	1,60–1,80
Фрезерование предварительное и чистовое торцовой фрезой	M_c	1,20–1,40	1,60–1,80
	F_f	1,20–1,40	1,60–1,80

Выбрав значения коэффициентов $k_1, \dots, k_6$ соответственно условиям выполнения операции, величину k рассчитывают для каждого конкретного случая обработки.

В качестве примера определим коэффициент запаса при торцовом фрезеровании необработанной отливки из серого чугуна СЧ–34, закрепленной в приспособлении с ручным зажимом. Положение зажимного устройства неудобно. Заготовка установлена на планки, сила подачи создает момент, стремящийся сдвинуть ее от опор. Если $k < 2,5$, то принимают $k = 2,5$. В этом случае принимаем следующие значения первичных коэффициентов (см. табл. 5.6): $k_0 = 1,2 \times 1,1 \times 1,2 = 1,6$; $k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,8$; $k_3 = 1,0$; $k_4 = 1,3$; $k_5 = 1,2$; $k_6 = 1,5$. Общий коэффициент запаса $k = 8$.

Значения коэффициента трения для различных видов контакта детали и приспособления приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Значения коэффициента трения f

Условия контакта заготовки и приспособления	Значения f
Заготовка контактирует с опорными пластинами приспособления: - обработанными поверхностями - необработанными поверхностями	0,15 0,2–0,25
Заготовка контактирует с опорами со сферической головкой приспособления необработанными поверхностями	0,25
Заготовка контактирует с опорными пластинами приспособления необработанными поверхностями	0,7
Заготовка закреплена в патроне с кулачками: - гладкими - с кольцевыми канавками - с взаимно перпендикулярными канавками - с острыми рифлениями	0,15–0,2 0,3–0,4 0,4–0,5 0,7–0,9

ГЛАВА 6. УНИВЕРСАЛЬНО-НАЛАДОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

6.1. Стандартизованные элементы конструкций

Производительность станков с ЧПУ в значительной мере зависит от технического уровня приспособлений для закрепления режущего инструмента (вспомогательного инструмента — ВИ), как обеспечивающих возможность сокращения всех составляющих штучно-калькуляционного времени.

Конструкция ВИ определяется тем, что его присоединительные поверхности соответствуют, с одной стороны, устройствам АСИ и закрепления инструмента на станке, а с другой — всем многообразным типам и типоразмерам присоединительных поверхностей режущего инструмента. Количество присоединительных поверхностей для закрепления режущего инструмента только на одном ГПМ может достигать до 200 типоразмеров. Поэтому для этих целей используют унифицированные конструкции. Унификация типов ВИ осуществляется путем использования принципа агрегатирования для взаимозаменяемости агрегатов между типами, моделями и группами станков с ЧПУ.

Агрегатирование позволяет упростить производство ВИ, ускорить его поставку по заказам и дает возможность пополнять запас инструмента у потребителя с наименьшими затратами.

При выборе ВИ отдают предпочтение конструкциям со стандартными элементами, регламентированными стандартами ИСО, что обеспечивает взаимозаменяемость конструкций и снижает стоимость инструмента. Применение стандартных элементов позволяет увеличить объем однотипной продукции и использовать значительно более совершенные технологические процессы и формы организации инструментального хозяйства, что приводит к снижению себестоимости конечной продукции.

Классификация инструментальной оснастки станков с ЧПУ приведена на рис. 6.1.

Для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп часто применяют хвостовики с конусами конусностью 7:24. Стандартная конструкция по ГОСТ 25827–2014 для ручной смены инструмента (табл. 6.1) применяется на фрезерных и расточных станках с. Для станков с автоматической сменой инструмента (АСИ) используют хвостовики по ГОСТ 25827–2014, (табл. 6.2), имеющие тот же размерный ряд, что и по ГОСТ 25827–2014 для ручной смены инструмента, но отличающиеся трапецеидальной проточкой во фланце под захват устройства АСИ. Такое решение позволяет унифицировать ВИ в производственных условиях, когда одновременно используются станки с АСИ и с ручной сменой инструмента.



Рис. 6.1. Классификация видов закрепления инструмента на станках с ЧПУ

Таблица 6.1

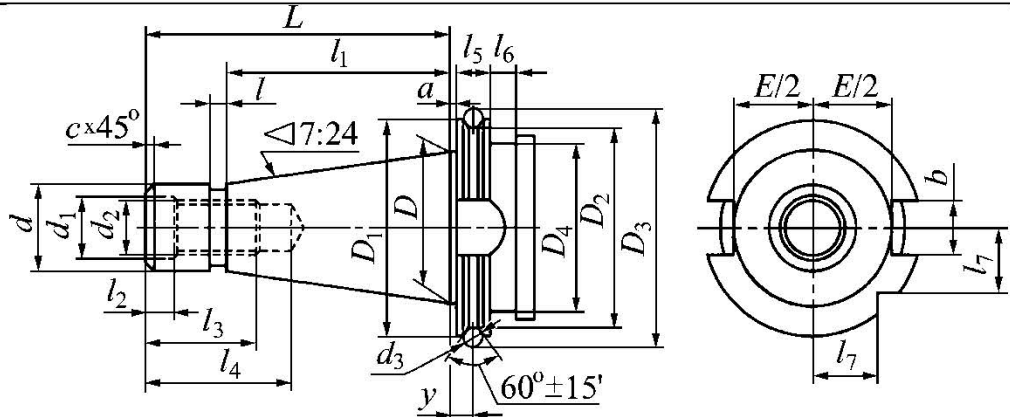
**Основные размеры хвостовиков по ГОСТ 25827–2014
для ручной смены инструмента, мм**

Конус 7:24	D	D_1	D_2 , не более	d , a10	d_1 , H7	d_2 , 6H	L , h12	l	l_1
30	31,75	50,0	36	17,4	13	M12	68,4	3	48,8
40	44,45	63,0	50	25,3	17	M16	93,4	5	65,4
45	57,15	80,0	68	32,4	21	M20	106,8	6	82,8
50	69,85	97,5	78	39,6	25	M24	126,8	8	101,8

Конус 7:24	$l_2 \left(\begin{smallmatrix} +0,5 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$	l_3 , не менее	l_4 , не менее	l_5 , не менее	l_6 , не менее	$a \pm 0,2$	b , Н12	$E/2$, не более	c
30	5,5	24	34	8	9	1,6	16,1	16,2	0,2
40	8,2	32	43	10	11	1,6	16,1	22,5	0,4
45	10,0	40	53	12	13	3,2	19,3	29,0	0,6
50	11,5	47	62	12	16	3,2	25,7	35,3	0,6

Таблица 6.2

**Основные размеры хвостовиков по ГОСТ 25827–2014
для автоматической смены инструмента, мм**

								
Конус 7:24	D	$D_1 \pm 0,15$	$D_2 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,5 \end{smallmatrix} \right)$	D_3 , h8	D_4 , не более		d , а10	d_1 , Н7
30	31,75	50	46	55,07	44		17,4	13
40	44,45	63	58	69,34	55		25,3	17
45	57,15	80	74	87,61	68		32,4	21
50	69,85	100	94	107,61	85		39,6	25
Конус 7:24	d_2 , 6H	d_3 , js5	L , h11	l	l_1	$l_2 \left(\begin{smallmatrix} +0,5 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$	l_3 , не менее	l_4 , не менее
30	M12	4	68,4	3	48,4	5,5	24	34
40	M16	5	93,4	5	65,4	8,2	32	43
45	M20	6	106,8	6	82,8	10,0	40	53
50	M24	6	126,8	8	101,8	11,5	47	62
Конус 7:24	$l_5 \pm 0,1$	l_6 , не менее	$l_7 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix} \right)$	$a \pm 0,1$	$y \pm 0,01$	b , Н12	c	$E/2 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,4 \end{smallmatrix} \right)$
30	8	8	15,5	1,6	5,6	16,1	0,2	16,2
40	10	10	18,5	1,6	6,6	16,1	0,4	22,5
45	12	12	24,0	3,2	9,2	19,3	0,6	29,0
50	12	12	30,0	3,2	9,2	25,7	0,6	35,3

Хвостовики по ГОСТ 25827–2014, исполнение А и U, соответствуют немецкому стандарту DIN 69871/A+AD и стандарту ISO 7388/1 (табл. 6.3). На станках ряда стран используют хвостовики по ГОСТ 25827–2014, исполнение J, соответствующие японскому стандарту MAS 403 BT (табл. 6.4).

Таблица 6.3

**Основные размеры хвостовиков по ГОСТ 25827–2014,
исполнение А и U, мм**

Конус 7:24	D	$D_1 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$D_2 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,5 \end{pmatrix}$	$D_3 \pm 0,05$	D_4 , не более	d , H7	d_1 , 6H
30	31,75	46,05	39,25	54,85	46,05	13	M12
40	44,45	63,55	56,25	72,30	50	17	M16
45	57,15	82,55	75,25	91,35	63	21	M20
50	69,85	97,50	91,25	107,25	80	25	M24
Конус 7:24	$L \begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	$l \begin{pmatrix} +0,5 \\ 0 \end{pmatrix}$	l_1 , не менее	L_2 , не менее	$l_3 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	l_4 , не менее	$l_5 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$
30	47,80	5,5	24	34	19,1	35	15,5
40	68,4	8,2	32	43	19,1	35	18,5
45	82,7	10,0	40	53	19,1	35	24,0
50	101,75	11,5	47	62	19,1	35	30,0
Конус 7:24	$y \pm 0,01$	$a \pm 0,1$	b , H12	$r \begin{pmatrix} 0 \\ -0,5 \end{pmatrix}$	$e \begin{pmatrix} 0 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	$e_1 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	
30	11,1	3,2	16,1	0,75	16,4	19,0	
40	11,1	3,2	16,1	1,20	22,8	25,0	
45	11,1	3,2	19,3	2,00	29,1	31,3	
50	11,1	3,2	25,7	2,50	35,5	37,7	

**Основные размеры хвостовиков по ГОСТ 25827–2014,
исполнение J, мм**

Конус 7:24	D	D_1 , h8	D_2	$D_3 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,5 \end{smallmatrix} \right)$	d , js5	d_1 , 6H	d_2 , H8	e
30	31,75	46	38	56,09	8	M12	13	20
40	44,45	63	53	75,62	10	M16	17	25
45	57,15	85	73	100,15	12	M20	21	30
50	69,85	100	85	118,95	15	M24	25	35
Конус 7:24	$L \pm 0,2$	l_2 , не менее	l_3 , не менее	$l_4 \left(\begin{smallmatrix} +0,5 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$	l_5 , не менее	$y \pm 0,01$	b , H12	$t \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix} \right)$
30	48,4	24	34	7	17	13,6	16,1	16,3
40	65,4	30	43	9	21	16,6	16,1	22,6
45	82,8	38	53	11	26	21,2	19,3	29,1
50	101,8	45	62	13	31	23,2	25,7	35,4
Конус 7:24		X		x_1		$a \pm 0,4$		r , не более
30		4		8		2		0,5
40		5		10		2		1
45		6		12		3		1
50		7		15		3		1

Соединение станка с инструментом влияет на свойства упругой технологической системы, а, следовательно, и на качество обработки деталей. Наличие микро- и макропогрешностей определяет качество этого соединения. Микропогрешности, а именно шероховатость присоединительных поверхностей, оказывают влияние на контактную податливость и демпфирование в соединении. Макропогрешности в виде отклонений формы присоединительной поверхности от идеальной, как в поперечном, так и в продольном сечении, вызывают уменьшение фактической площади контакта поверхностей и ухудшают их прилегание.

Основные погрешности сопрягаемых конических поверхностей: а) отклонения от правильной окружности в поперечных сечениях — некруглость; б) отклонение образующей от прямолинейности; в) отклонение угла конуса от номинального значения $8^{\circ}17'50''$, определяемое как допуск на полуразность номинальных диаметров d_c и d_d на длине измерения L_p (рис. 6.2). При этом предельное отклонение должно быть направлено в «плюс». Общепринятым является назначение предельных отклонений по степени точности АТЗ (табл. 6.5).

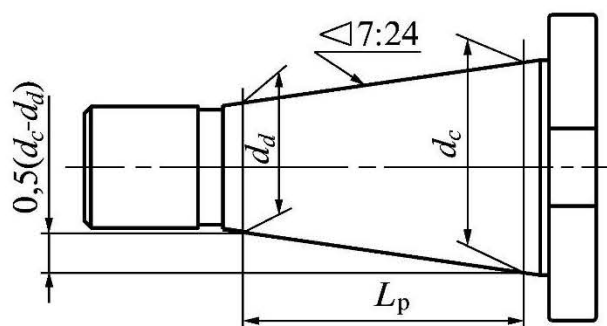


Рис. 6.2. Параметры точности конусов 7:24

Таблица 6.5

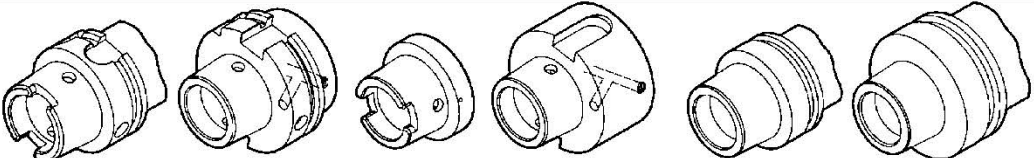
**Величины предельных отклонений угла
и формы поперечных и продольных сечений конуса 7:24
по степени точности АТЗ, мм**

Конус 7:24	Предельные отклонения			
	угла конуса		формы	
	Величина	На длине	Непрямолинейность образующей	Некруглость поперечных сечений
30	0,002	48	0,0006	0,0006
40	0,003	56	0,0008	0,0006
45	0,003	65	0,0008	0,0008
50	0,004	83	0,0010	0,0008

Дальнейшее повышение точности и жесткости закрепления за счет точного базирования по конической поверхности конусностью 7:24 нецелесообразно из-за низкой эффективности расходов на изготовление. Поэтому существуют несколько вариантов усовершенствования конструкций хвостовиков.

Для высокоскоростной обработки разработан стандарт ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013, соответствующий стандарту DIN 69893 на хвостовики с обозначением HSK, что является аббревиатурой немецкого названия Hohlschäfte Kegel (Полый Конус). Стандарт DIN 69893 включает в себя 6 типов хвостовиков 35 типоразмеров. Схема соответствия типов показана в табл. 6.6.

**Типы хвостовиков HSK, их типоразмеры
и номера стандартов**

										
HSK-A HSK-B HSK-C HSK-D HSK-E HSK-F										
Обозначение типа хвостовика HSK	Обозначение типоразмера									Номер стандарта DIN
	25	32	40	50	63	80	100	125	160	
A	—	+	+	+	+	+	+	+	+	69893-1
B	—	—	+	+	+	+	+	+	+	69893-2
C	—	+	+	+	+	+	+	—	—	69893-1
D	—	—	+	+	+	+	+	+	—	69893-2
E	+	+	+	+	+	—	—	—	—	69893-5
F	—	—	—	+	+	+	—	—	—	69893-6

В настоящее время стандартизованы хвостовики HSK типов А и С (табл. 6.7), В и D (табл. 6.8), Е и F (табл. 6.9) Хвостовики HSK типов Е и F являются наиболее подходящими для ВСО.

Сопоставление размеров хвостовиков HSK DIN 69871 и с конусом 7:24 по **ГОСТ 25827–2014** приведено в табл. 6.10.

Хвостовики HSK применяют на высокоскоростных станках с частотой вращения шпинделя более $10\,000\text{ мин}^{-1}$. Основными областями применения являются: чистовое фрезерование; изготовление пресс-форм и штампов; внутреннее шлифование; сверление и высокоточное развертывание, деревообработка и т.п.

Таблица 6.7

Размеры хвостовиков HSK типов A и C, мм

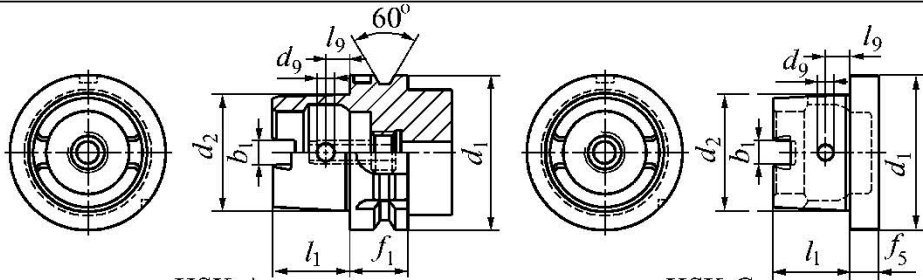
								
	HSK-A				HSK-C			
d_1	32	40	50	63	80	100	125	160
d_2	24	30	38	48	60	75	95	120
l_1	16	20	25	32	40	50	63	80
b_1	7,05	8,05	10,54	12,54	16,04	20,02	25,02	30,02
d_9	4,0	4,6	6,0	7,5	8,5	12,0	—	—
l_9	5,0	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	—	—
f_1	20	20	26	26	26	29	29	31
f_5 , не менее	10	10	12,5	12,5	16	16	—	—

Таблица 6.8

Размеры хвостовиков HSK типов B и D, мм

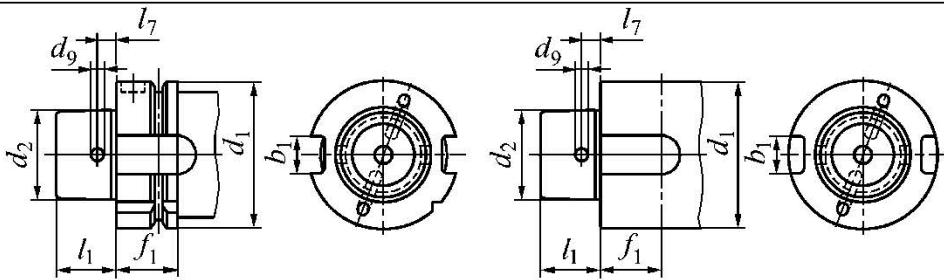
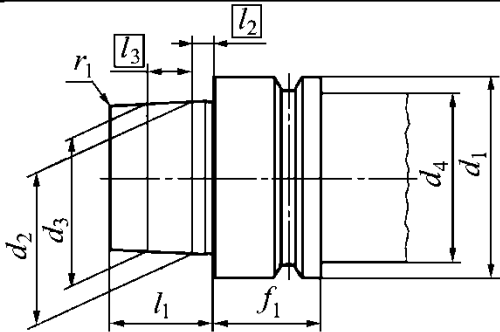
							
	HSK-B				HSK-D		
d_1	40	50	63	80	100	125	160
d_2	24	30	38	48	60	75	95
l_1	16	20	25	32	40	50	63
b_1	10	12	16	18	20	25	32
d_9	4,0	4,6	6,0	7,5	8,5	—	—
l_7	5,0	6,0	7,5	9,0	12,0	—	—
f_1	20	25	26	26	29	29	31

Таблица 6.9

Размеры хвостовиков HSK типов E и F, мм



Обозначение хвостовика	d_1	d_2	d_3	d_4	f_1	l_1	l_2	l_3
HSK-E25	25	19	18,5	20	10	13	2,5	8,5
HSK-E32	32	24	23,27	26	20	16	3,2	7,3
HSK-E40	40	30	29,05	34	20	20	4,0	9,5
HSK-E50	50	38	36,90	42	26	25	5,0	11,0
HSK-F50	50	30	29,05	42	26	20	4,0	9,5
HSK-E63	63	48	46,53	53	26	32	6,3	14,7
HSK-F63	63	38	36,90	53	26	25	5,0	11,0
HSK-F80	80	48	46,53	67	26	32	6,3	14,7

Таблица 6.10

Сопоставление размеров хвостовиков

Хвостовик по ГОСТ 25827–2014	HSK A и C по DIN 69893/1	HSK B и D по DIN69893/2
—	HSK 40	HSK 50
30	HSK 50	HSK 63
40	HSK 63	HSK 80
45	HSK 80	HSK 100
50	HSK 100	HSK 125

В большинстве перечисленных операций необходим большой вылет режущей части инструмента относительно торца шпинделя. Так как центробежные силы возрастают с ростом частоты вращения, то на большом вылете при смещении центра масс относительно оси вращения, эти силы способны деформировать инструмент и исказить траекторию его движения.

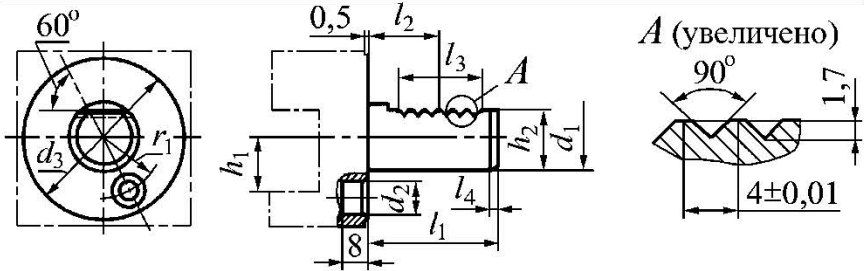
Инструмент с большой массой может вызвать появление осевой составляющей центробежной силы, сопоставимой с силой закрепления инструмента в шпинделе. Может произойти раскрепление инструмента, нарушение его базирования, потеря жесткости и даже разрушение. Поэтому необходима тщательная балансировка инструмента перед его установкой в шпинделе высокоскоростного станка.

Современные токарные станки помимо наружного точения и обработки внутренних поверхностей, соосных с осью вращения заготовки, имеют возможность сверлить и фрезеровать другие поверхности. Для этого они снабжаются или специальным вспомогательным инструментом, передающим крутящий момент от специальных приводов, или оснащаются дополнительными шпинделями по типу фрезерных. Для таких многооперационных станков возникает необходимость унифицировать токарный и фрезерный инструмент за счет создания специальных хвостовиков (см. раздел 7.2).

Для токарных станков с ЧПУ с revolverными головками резцедержатели и вспомогательный инструмент для вращающегося инструмента изготавливают с цилиндрическими хвостовиками по ГОСТ 24900–81 и стандарту DIN 69880. Основные размеры резцедержателей приведены в табл. 6.11.

Таблица 6.11

**Основные размеры цилиндрических хвостовиков
для станков токарной группы, мм**

									
$d_1, \text{h6}$	$l_1 \pm 0,3$	$d_2, \text{h8}$	d_3	h_1 , не более	$h_2 \pm 0,1$	$l_2 \pm 0,05$	l_3 , не менее	$l_4 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$r_1 \pm 0,02$
16	32	8	40	12	15	12,7	16	2	14,5
20	40	10	50	16	18	21,7	24	2	18
25	48	10	58	16	23,5	21,7	24	2	21
30	55	14	68	20	27	29,7	40	2	25
40	63	14	83	25	36	29,7	40	3	32
50	78	16	98	32	45	35,7	48	3	37
60	94	16	123	32	55	43,7	56	4	48

6.2. Расчет размеров и допускаемых отклонений базисных агрегатов и сменных наладок

Как было показано в разделе 1.3 данного учебного пособия, расчеты по приведенным там формулам позволяют по заданным параметрам технологического процесса и параметрам приспособления рассчитать дисперсию окончательного размера обработанной детали.

Там же было указано на возможность решения обратной задачи — по заданным предельным значениям дисперсии окончательного размера рассчитать параметры $\Delta_{\text{уст}}$ и $\Delta_{\text{упр}}$, относящиеся к приспособлению с последующим их дифференцированием на зависящие от конструктивных, и отдельно, от геометрических параметров приспособления.

В данном разделе рассматривается методика определения «веса» этих параметров в балансе точности операций с учетом совокупности требований стандартов, требований и условий технологических процессов изготовления обрабатываемых деталей и деталей приспособлений для закрепления инструмента, особенностей установки и закрепления инструмента на станке и требований

к организации инструментального хозяйства.

Определение величин допусков на размеры, форму и взаимное расположение присоединительных поверхностей осуществляют путем преобразования уравнения (1.27) размерных цепей сборок:

$$\bar{e}_{\Sigma(x)} = \frac{1}{K_{\Sigma(x)}} \sqrt{\sum_i^n A_i^2 K_i^2 e_i^2} \quad (6.1)$$

где e_i — половина среднего допуска на звенья размерной цепи.

В качестве $e_{\Sigma(x)}$ принимают половину допускаемого биения присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента для конкретного вида режущего инструмента. Допускаемые значения этой величины определяются как биение оправки на вылете, равном расстоянию от присоединительной поверхности режущего инструмента до его режущих кромок. Коэффициенты $K_{\Sigma(x)}$ рассчитывают по формуле (1.28), значения K_i — из табл. 6.12.

**Значение коэффициента K_i в зависимости
от способа получения поверхности**

Способ получения поверхности	Вид поверхности	K_i
Наружное шлифование в центрах	Конус 7:24	1,51
	Конус 1:5	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Внутреннее шлифование	Конус 7:24	1,17
	Конус 1:5	1,21
	Цилиндрическая	1,09

Значения биения конического отверстия шпинделя e_1 и нормированного перекоса e_2 принимают в соответствии с требованиями технических условий на станки.

При количестве составляющих звеньев с однородными по величине допусками среди общего числа звеньев более 5 принимают $K_\Sigma = 1$, что соответствует 0,27% выхода величины замыкающего звена за допускаемые пределы.

Средние значения зазоров в цилиндрическом соединении, полностью выбираемых в одну сторону, рассчитывают по формуле:

$$\Delta = \frac{1}{4} K_i (\delta_A + \delta_B) \quad (6.2)$$

где K_i — коэффициент рассеивания допуска при изготовлении цилиндрических деталей шлифованием;

δ_A — поле допуска отверстия;

δ_B — поле допуска вала.

В качестве примера ниже дан расчет допускаемых отклонений сборки режущего и вспомогательного инструмента, изображенной на рис. 6.3, где:

e_Σ — замыкающее звено размерной цепи;

e_1 — биение конического отверстия шпинделя;

e_2 — биение шпинделя от перекоса осей;

e_3 — биение базового агрегата от перекоса в коническом соединении;

e_4 — биение сменной втулки или оправки от зазора в цилиндрическом соединении;

e_5 — биение посадочного отверстия базового агрегата;

e_6 — биение сменной втулки оправки или режущего инструмента от перекоса в цилиндрическом или коническом соединении;

e_7 — биение конического отверстия в сменной втулке;

e_8 — биение сменной разрезной втулки или режущего инструмента от перекоса в коническом соединении;

e_9 — биение цилиндрического отверстия в сменной разрезной втулке.

Звенья e_1, e_4, e_5, e_7, e_9 является векторами биений, не зависящими от вылета, а звенья e_2, e_3, e_6, e_8 — векторами перекосов, которые необходимо учитывать при изменении вылета инструмента.

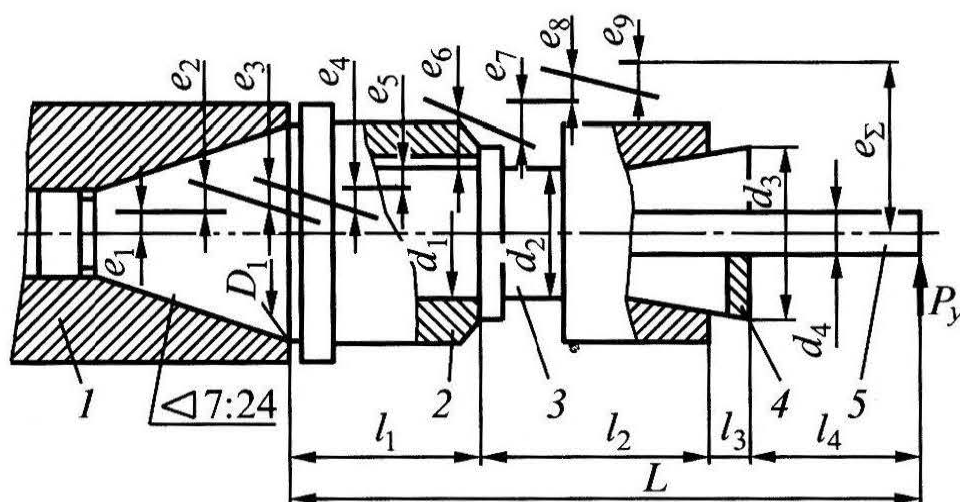


Рис. 6.3. Размерная цепь сборки режущего инструмента и вспомогательного инструмента (РИ и ВИ), установленной на станке

Передаточные отношения при составляющих звеньях размерных цепей характеризуют степень и направленность влияния составляющего звена на замыкающие. Для определения передаточных отношений в размерной цепи для звеньев-векторов перекосов следует учитывать размеры вылетов агрегатов сборки.

В связи с тем, что передаточные отношения векторов перекосов в плоскости замыкающего звена могут быть интерпретированы как биения, а биения является величиной, сугубо положительной, то все передаточные отношения в рассматриваемой размерной цепи имеют положительные значения.

Для размерной цепи на рис. 6.3 уравнение (6.1) имеет вид:

$$e_{\Sigma} = e_1 + A_2 e_2 + A_3 e_3 + e_4 + e_5 + A_6 e_6 + e_7 + A_8 e_8 + e_9,$$

$$\begin{aligned} \text{где } A_2 &= \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{l_{H_2}}; A_3 = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{l_{H_3}}; \\ A_6 &= \frac{l_2 + l_3 + l_4}{l_{H_6}}; A_8 = \frac{l_3 + l_4}{l_{H_8}}, \end{aligned} \quad (6.3)$$

где l_{Hi} — величина вылета, на котором нормируется величина соответствующих перекосов.

Алгоритм расчета сборок инструмента приведен на рис. 6.4.

Анализ среднего значения допуска составляющего звена с учетом предполагаемых технологических процессов изготовления базисных агрегатов и сменных наладок показывает, что достижение заданной точности возможно без компенсирующих звеньев методом взаимозаменяемости.

Уравнение размерной цепи:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(A_1 K_1 e_1)^2 + (A_2 K_2 e_2)^2 + (A_3 K_3 e_3)^2 + (A_4 K_4 e_4)^2 + \dots} \quad (6.4)$$

$$\dots + (A_5 K_5 e_5)^2 + (A_6 K_6 e_6)^2 + (A_7 K_7 e_7)^2 + (A_8 K_8 e_8)^2 + (A_9 K_9 e_9)^2,$$

где K_{Σ} — коэффициент относительного рассеивания величины замыкающего звена e_{Σ} ;

K_i — коэффициент относительного рассеивания i -го звена (по табл. 6.12).

Если принять, что $e_3 = e_4 = e_5 = e_6 = e_7 = e_8 = e_9 = e_{\text{ср}}$, где: $e_{\text{ср}}$ — среднее значение допуска, то с учетом того, что $A_1 = A_4 = A_5 = A_7 = A_9 = 1$, получается:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(K_1 e_1)^2 + (A_2 K_2 e_2)^2 + e_{\text{ср}}^2 [(A_3 K_3)^2 + K_4^2 + K_5^2 + \dots} \quad (6.5)$$

$$\dots + (A_6 K_6)^2 + K_7^2 (A_8 K_8)^2 + K_9^2]$$



Рис. 6.4. Алгоритм расчета размеров и допускаемых отклонений на рабочие поверхности соединений сборки инструмента

Номинальные размеры и допускаемые отклонения составляющих звеньев e_1 и e_2 определяют по техническим нормам на металлорежущие станки. Разме-

ры вылета режущих инструментов определяют по государственным и отраслевым стандартам. Сведения для расчета размерной цепи сборки РИ и ВИ приведены в табл. 6.13.

Таблица 6.13

Сведения для расчета размерной цепи сборки (см. рис. 6.3)

Звено размерной цепи	Передаточные отношения	Заданные размеры, мм	Нормиро- ванная величина вылета, мм	Заданные допускаемые отклонения, мм	Коэффициент рассеивания K_i
e_{Σ}	—	—	—	0,055	1
e_1	$A_1=1,0$	—	—	0,006	1,1
e_2	$A_2=1,67$	$L=250$	150	0,001	1,17
e_3	$A_3=2,5$	$L=250$	100	—	1,57
e_4	$A_4=1,0$	—	—	—	1,09
e_5	$A_5=1,0$	—	—	—	1,09
e_6	$A_6=1,5$	$L_2+l_3+l_4=50$	100	—	1,09
e_7	$A_7=1,0$	—	—	—	1,17
e_8	$A_8=0,5$	$l_3+l_4=50$	100	—	1,37
e_9	$A_9=1,0$	—	—	—	1,09

По формуле (6.5) вычисляют среднее значение допуска $e_{\text{ср}}$, которое корректируют, исходя из равной сложности обеспечения допусков в условиях крупносерийного производства. Характер сложности определяют экспертным путем.

Пример процесса корректировки допусков и установки их окончательных значений приведен в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Корректировка допусков

Звено размерной обработки	Среднее значение допуска, мкм	Значение допусков		1-я попытка		2-я попытка	
		мкм	степень точности	мкм	степень точности	мкм	степень точности
3	13,39	13,39	AT8	2,6	AT6	2,6	AT6
4		13,39	$\frac{H5}{b4}$	32	$\frac{H6}{g5}$	38	$\frac{H7}{g6}$
5		13,39	—	20	—	15	—
6		13,39	$\frac{H9}{b9}$	6,4	$\frac{H6}{g5}$	6,8	$\frac{H7}{g6}$
7		13,39	—	15	—	15	—
8		13,39	AT9	10	AT7	10	AT7
9		13,39	—	15	—	15	—

Соотношения между значениями допусков (зазоров Δ_i и e_i) определяют по эмпирическим зависимостям (табл. 6.15). Проверочный расчет величины замыкающего звена e_i при откорректированных допусках должен показать, что она не превышает заданных значений.

Таблица 6.15

**Зависимости e_i и θ_i от радиального Δ_i и углового $\Delta\alpha_i$ зазоров
в соединениях элементов сборок**

Наименование	Величина зазора		Величина e_i на вылете 100 мм, мм	Величина θ_i $10^{-5}(H \cdot м)^{-1}$
Цанговый патрон для цилиндрических деталей диаметром 6–32 мм	Δ_i , мм	0–0,25 0,025–0,050	$0,0066+0,253 \Delta_i$ $0,013+0,080(\Delta_i -0,025)$	$0,0023+0,015 \Delta_i$
Соединение с односторонним прижимом диаметром 40–50 мм	Δ_i , мм	0,015–0,025 0,025–0,045 0,045–0,070 0,070–0,100	$0,0010+0,220(\Delta_i -0,015)$ $0,0032+0,056(\Delta_i -0,025)$ $0,0042+0,056(\Delta_i -0,045)$ $0,0056+0,113(\Delta_i -0,070)$	$0,0003+0,0125 \Delta_i$

Наименование	Величина зазора		Величина e_i на вылете 100 мм, мм	Величина θ_i $10^{-5} (H \cdot м)^{-1}$
Соединение с односторонним прижимом диаметром 20–36 мм	Δ_i , мм	0,015–0,030 0,030–0,050 0,050–0,100	0,0030+0,133(Δ_i -0,015) 0,0026+0,085(Δ_i -0,030) 0,0033+0,086(Δ_i -0,050)	0,0009+0,025 Δ_i
Конус 7:24 №40	$\Delta\alpha_i$, сек	0–10 10–15 15–30 30–60	0,0625 $\Delta\alpha_i$ 0,625+0,125($\Delta\alpha_i$ -10)	0,0001+0,0525 $\Delta\alpha_i$
Конус 7:24 №50	$\Delta\alpha_i$, сек	0–10 10–15 15–30 30–60	1,250+0,177($\Delta\alpha_i$ -15) 3,00+0,150($\Delta\alpha_i$ -30)	0,0002+0,0125 $\Delta\alpha_i$

С учетом того, что в пределах полей допусков на угловые отклонения приняты максимальные значения биений в плоскости замыкающего звена, можно считать, что процент выхода за пределы поля допуска не превышает 0,27%. Такой риск вполне допустим с учетом практических требований к обработке.

Пример назначения допусков, в зависимости от вылета цельного и сборного инструмента, показан на рис. 6.5.

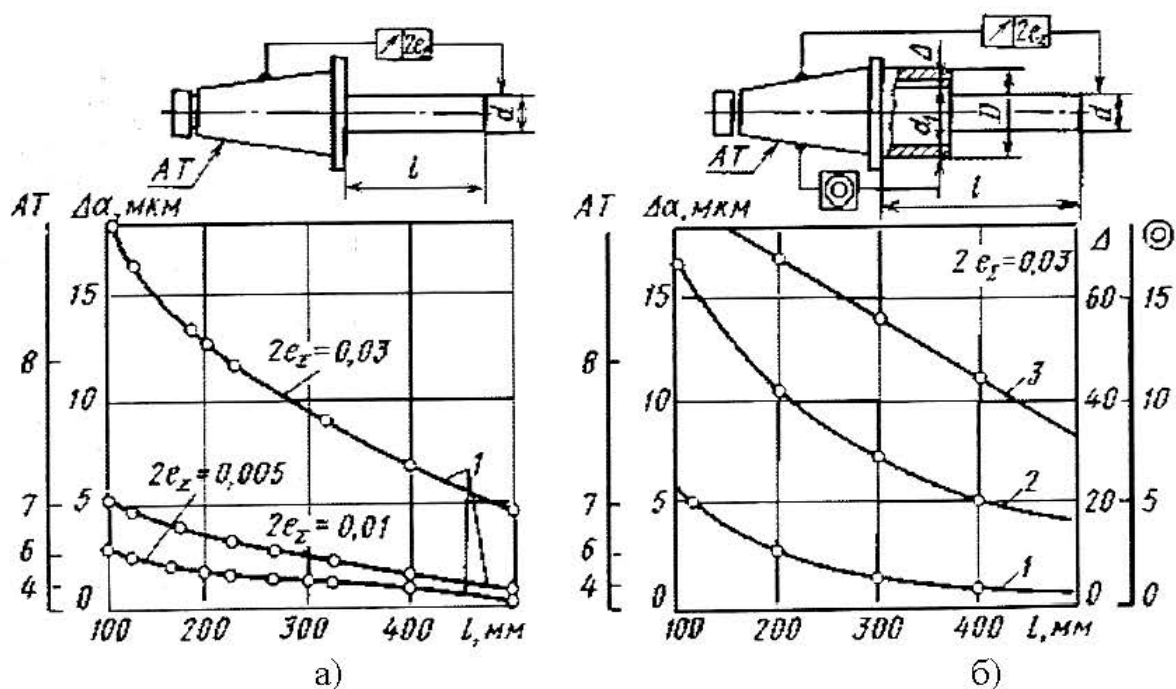


Рис. 6.5. Допуски на присоединительные поверхности:
1 — допуски на угол конуса; 2 — допуски на радиальный зазор (цилиндрическая посадка); 3 — допуск на неконцентричность

Из размерного анализа следует, что ряд ВИ, таких как оправки для насадных разверток, втулки для сверл, зенкеров и разверток с коническим хвостовиком и однолезвийные оправки для предварительного растачивания, могут быть изготовлены с биением присоединительных поверхностей до 0,045 мм на вылете вспомогательного инструмента до 200 мм.

Пределы допустимого биения оправок требуемой длины для торцевых фрез и для чистового растачивания должны быть ограничены величиной 0,005–0,01 мм.

Эти данные объясняют, почему на станках с ручным управлением зачастую применяются переходные втулки, хотя при этом оговаривается, что недопустимо использовать переходные втулки при работе отделочным инструментом.

Таким образом, можно сделать вывод, что большую часть конструкций инструмента для автоматизированного оборудования возможно сделать сборными (агрегатированными), определив при этом границу экономической целесообразности применения таких конструкций.

В предположении, что различные сборки различных систем инструмента могут обеспечить выполнение требований к точности обработки в неодинаковой степени, необходимо решить задачу, какому варианту системы вспомогательного инструмента следует отдать предпочтение.

Создание гибких систем инструмента является оптимизационной задачей. Эта задача может быть решена путем наложения ограничений на размеры и допускаемые отклонения присоединительных поверхностей элементов сборки из условия выполнения требований к качеству обработки.

Существующие исследования влияния основных геометрических и конструктивных параметров режущего инструмента на качество обработки позволят получить количественные зависимости, характеризующие взаимосвязь точности обработки и биения режущих кромок из-за погрешностей установки инструмента. Установлены требования [5] к биению патронов и втулок в сборе со шпинделем станка: для сверл — 0,1–0,14 мм, зенкеров и разверток диаметром до 50 мм — 0,06 — 0,08 мм, для торцевых и дисковых фрез рекомендуется допуск на несоосность хвостовика и установочной поверхности оправки — не более 0,02 мм. Биение посадочных поверхностей при креплении концевых фрез необходимо выдерживать в пределах 0,012 мм.

Обобщение требований к биению режущих кромок позволяет определить значения замыкающего звена $2e_{\Sigma}$ (табл. 6.16). Также известны значения требований к радиальной податливости (табл. 6.18), которые могут служить основой для расчетов размеров его консольных участков и сечений составляющих элементов, величин зазоров в соединениях, определяющих значения $\Delta_{упр}$. Так, при фрезеровании дисковыми фрезами диаметром 125–160 мм удовлетворительные результаты получаются при податливости крепления в радиальном направлении 0,1 мм/кН.

Таблица 6.16

**Требования к биению режущих кромок
режущего инструмента**

Закрепляемый инструмент	Биеение $2e_{\Sigma}$, мм
Сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 3–10 мм	0,055
Зенкеры и развертки диаметром до 10 мм	0,060
Фрезы концевые диаметром 3–10 мм	0,010
Расточные резцы для получистовой обработки	0,030
То же для чистовой обработки отверстий	0,005

Все сборки могут быть рассчитаны в соответствии с алгоритмом (см. рис. 6.4) на предельные значения вылета при заданной точности обработки при заданной податливости.

Данные для расчета приведены в табл. 6.17. Соотношения между значениями допусков (зазора Δ_i) и θ_i определяются по табл. 6.15. Проверочный расчет величины податливости δ_B сборки РИ и ВИ должен показать, что она не превышает заданных значений.

Расчет проводится из условия:

$$\delta_B = P_y \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum l_i^3}{3E_i I_i} + \theta_i \sum_{i=1}^n l_i^2 \right] \quad (6.6)$$

**Требования к податливости закрепления
режущего инструмента**

Закрепляемый инструмент	Податливость δ_B мм/кН
Сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 3–10 мм	0,28
Развертки диаметром до 10 мм	0,5
Фрезы концевые диаметром 3–10 мм	0,2
Фрезы дисковые диаметром 125–160 мм	0,1
Расточные резцы для получистовой обработки	0,25
То же для чистовой обработки отверстий	0,17

Ниже приведен пример расчета предельного вылета l_2 сборки для базирования и закрепления специального сверла (см. рис. 6.3).

Для данной сборки:

$$\delta_B < \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)^3}{3EI_1} + \frac{(l_2 + l_3 + l_4)^3}{3EI_2} + \frac{(l_3 + l_4)^3}{3EI_3} + \frac{l_4^3}{3EI_4} + \theta_1(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)^2 + \theta_2(l_2 + l_3 + l_4)^2 + \theta_3(l_3 + l_4)^2 + \theta_4 l_4^2 \quad (6.7)$$

Данные для расчета приведены в табл. 6.18. Соотношения между значениями допусков (зазоров Δ_i и $\Delta\alpha_i$) и θ_i определяются по табл. 6.15. Проверочный расчет величины податливости δ_B сборки РИ и ВИ должен показать, что она не превышает заданных значений.

Аналогично по критериям точности и жесткости могут быть проанализированы размеры и допуски различных сборок РИ и ВИ. Анализ полученных данных показывает, что с точки зрения точности закрепления, возможно использовать агрегатированные конструкции, за исключением торцовых фрез и расточных оправок для чистовой обработки отверстий. Агрегатированный ВИ может быть конструктивно реализован из базисных агрегатов и сменных наладок.

Другим критерием при оценке сборок является соответствие требованиям оборудования, и в первую очередь — соответствие рабочему пространству. Для этого поперечные сечения рабочего пространства станка выражают в долях ширины «В» рабочей поверхности стола и увязывают с размерами координатных перемещений исполнительных органов и размерами инструментов.

**Определение вылета сверла сборки ВИ
со спиральным сверлом (см. рис. 6.3)**

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ				
d_4 , мм	6		18	
J_4 , мм	$6,48 \cdot 10^3$		$5,25 \cdot 10^3$	
l_4 , мм	10		15	
$\theta_4, (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	1,03		0,39	
d_3 , мм	40			
J_3 , мм	$12,8 \cdot 10^4$			
l_3 , мм	10			
$\theta_3, (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,19			
d_2 , мм	32	44	32	44
J_2 , мм	$5,24 \cdot 10^4$	$18,74 \cdot 10^4$	$5,24 \cdot 10^4$	$18,74 \cdot 10^4$
d_1 , мм	36	48	36	48
$\theta_2, (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,41	0,14	0,41	0,14
D_1 , мм	69,85			
J_2 , мм	$119,02 \cdot 10^4$			
$\theta_1, (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,02			
$\delta_{\text{В}}, \text{м} \cdot \text{Н}^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,28		0,18	
РАССЧИТАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ				
Для:	Предельно допустимый вылет l_2			
$l_1 = 75$, мм	120	245	110	205
$l_1 = 105$, мм	120	205	110	170
$l_1 = 160$, мм	110	190	105	155
$l_1 = 200$, мм	90	170	85	140

При вертикальной компоновке станка (рис. 6.6, а) наибольшие размеры инструмента по длине, который может быть автоматически заменен без дополнительных движений:

$$l_{\text{imax}} = Z/2 + l_{\text{imin}} - (l_{\text{xb}} + 2\Delta) \quad (6.8)$$

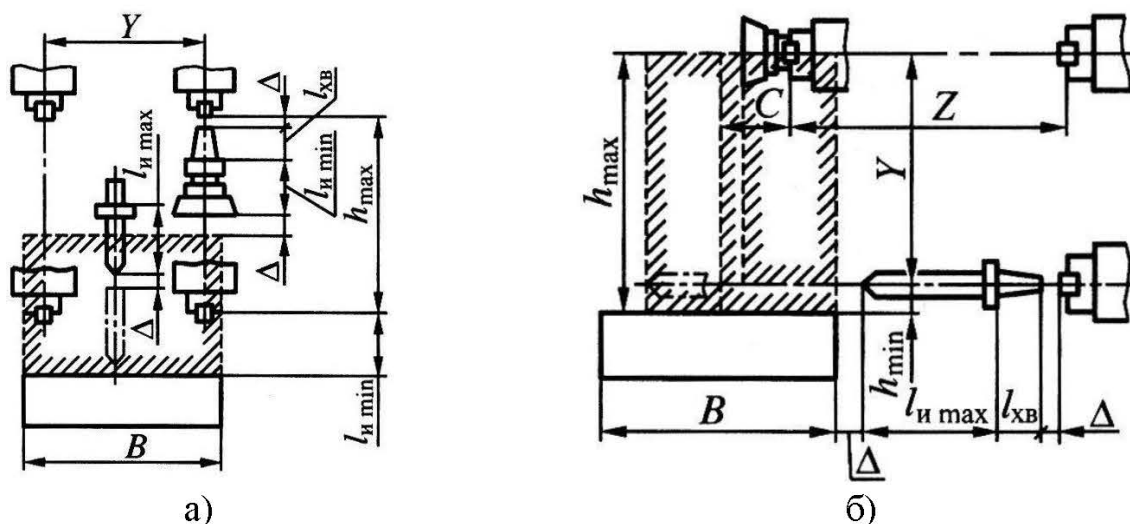


Рис. 6.6. Определение максимального и минимального вылета инструмента для:
 а — вертикальных станков; б — горизонтальных станков

При горизонтальном варианте пространства станка (рис. 6.6, б) наибольшие размеры инструмента по длине равны:

$$k_2 B = Z - (l_{хв} + 2\Delta) \quad (6.9)$$

где $k_2 = 0,66$.

Для вертикальных станков $B = 300-1250$ мм, для горизонтальных $B = 300-1000$ мм. Соотношение между Y и B для горизонтальных станков — 0,56, а для вертикальных — 0,86.

Сведения о допускаемых размерах и массе инструмента в инструментальных магазинах приведены в табл. 6.19.

Таблица 6.19

Допускаемые размеры и масса сборок инструмента

Конус	t , мм	s , мм	$d_{\text{иmax}}$, мм	$D_{\text{иmax}}$, мм	L , мм	m , кг
HSK63-A	38,1	76	65	225	400	16
		88	85	250		
		114	110			
		133	130			
		152	150			
7:24 N50	50,8	101	100	300	500	25
		133	130			
		152	150			
		177	170			
		203	200			

В табл. 6.19 обозначены: t — расстояние между шпонками гнезд магазина; s — расстояние между гнездами; d_{imax} — максимальный диаметр инструмента; D_{imax} — то же, при соседних пустых гнездах; L — общая длина компоновки инструмента, включая ее крепежную часть.

По указанным выше критериям рассчитаны вылеты сборок РИ и ВИ. Результаты расчетов приведены на рис. 6.7–6.9, на которых обозначены зависимости для сборок: 1 — на базе цилиндрического соединения с односторонним расположением крепежных элементов; 2 — с цанговыми патронами; 3 — с конусом Морзе; 4 — в виде цельных оправок.

Для крепления сверл, фрез и других инструментов с цилиндрическим хвостовиком наиболее целесообразной является сборка типа 2 (рис. 6.7 и 6.8). Это объясняется тем, что в такой схеме отпадает необходимость в дополнительном цилиндрическом соединении, так как закрепление происходит непосредственно по цилиндрическим поверхностям отверстия цанги и хвостовика режущего инструмента.

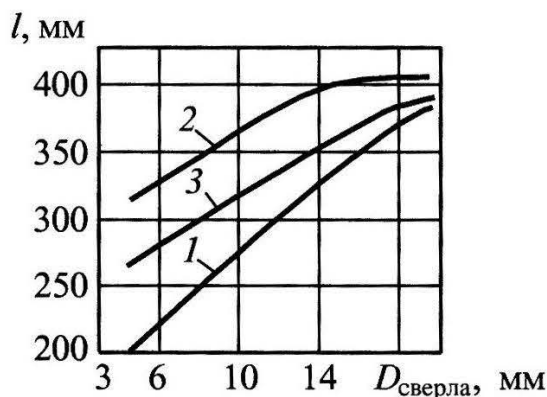


Рис. 6.7. Допускаемый вылет сборок при закреплении сверл за цилиндрический хвостовик

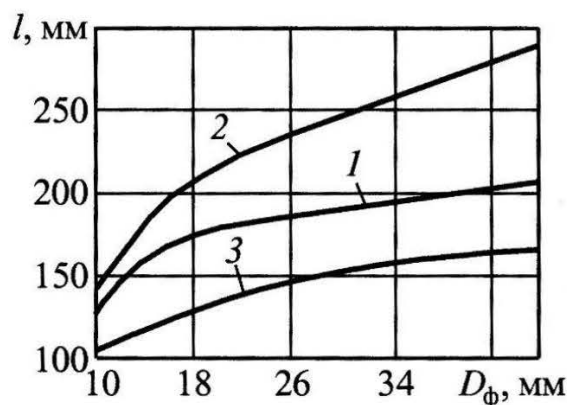


Рис. 6.8. Допускаемый вылет сборок при закреплении концевых фрез за цилиндрический хвостовик

При креплении осевого инструмента целесообразно остановить выбор на сборках типа 1 на базе цилиндрического соединения с односторонним расположением крепежных элементов, сменные наладки которых взаимозаменяемы для станков различных конструкций и имеют достаточный вылет.

Необходимо учитывать, что сборки типа 3 с наружными конусами 7:24 и внутренними конусами Морзе имеют излишние запасы точности и жесткости; номенклатура таких втулок очень широка из-за нескольких размеров конусов Морзе, что обуславливает значительное усложнение технологического процесса достижения высокого качества конусов 7:24 при их изготовлении.

Сравнение вариантов сборок расточного инструмента (рис. 6.9) показывает преимущество цилиндрического соединения с односторонним расположением крепежных элементов перед другими соединениями в части обеспечения необходимого вылета инструмента.

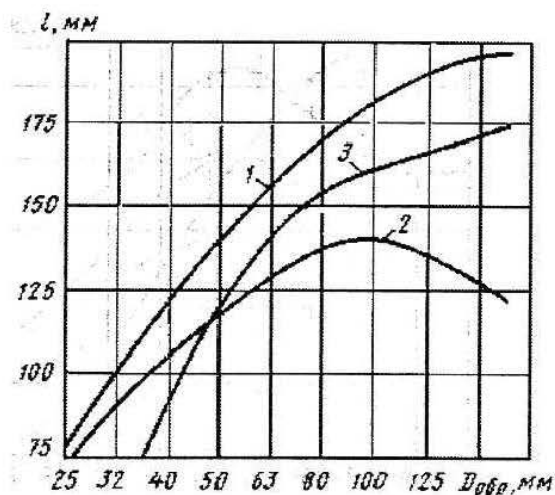


Рис. 6.9. Допускаемый вылет сборок при растачивании (от торца базисного агрегата)

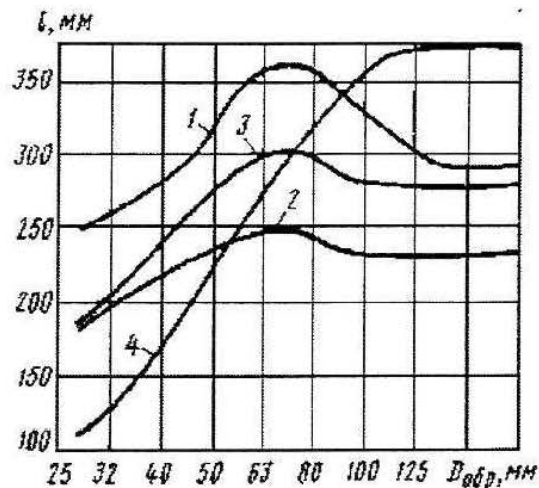


Рис. 6.10. Допускаемый вылет сборок для чернового растачивания (от торца базисного конуса 7:24)

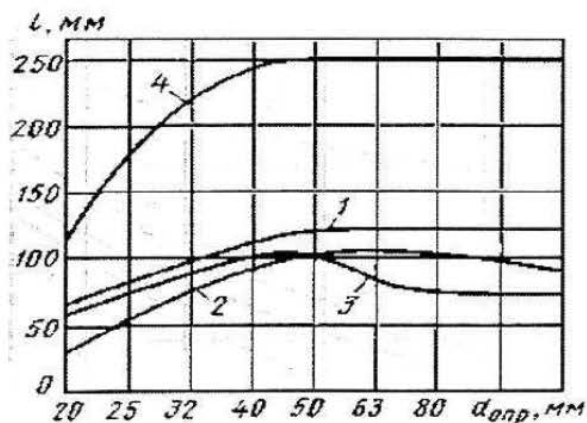


Рис. 6.11. Допускаемый вылет компоновок для чистового растачивания

Это преимущество с большей очевидностью раскрывается при сравнении вылетов сборок расточного инструмента с вылетами от торца шпинделя станка (рис. 6.10). Сборки расточного инструмента для предварительной обработки с диаметром рабочей части сменных наладок до 50 мм обеспечивают вылеты в 1,2–2,3 раза больше, чем цельные, если они выполнены на базе цилиндрических соединений с односторонним расположением крепежных элементов.

Сборки сборного инструмента для чистовой обработки во всем диапазоне диаметров обрабатываемых отверстий не дают преимуществ перед цельными (рис. 6.11).

Полученные зависимости показывают, что в качестве основного способа крепления режущего инструмента на многооперационных станках с ЧПУ, целе-

сообразно использовать сборки инструмента, например, на базе цилиндрического соединения по «горячей» посадке, то есть в термопатронах.

Расточные оправки для предварительной обработки отверстий с диаметром рабочей части сменных наладок до 50 мм целесообразно делать составными, а с рабочей частью диаметром более 50 мм — цельными.

Сменные наладки переходных втулок, оправок для насадного инструмента других типов, целесообразно разделить на короткие и длинные, в базисных агрегатах с конусами 40 и 50 — устанавливать взаимозаменяемые сменные наладки с одинаковым диаметром наружной цилиндрической поверхности.

Оправки для чистового растачивания и для торцовых насадных фрез целесообразно делать цельными с повышенными требованиями к точности конусов, закрепляемых в шпинделях станков.

6.3. Специальные конструкции приспособлений

Главным требованием к специальным приспособлениям для закрепления инструмента при обработке групп отверстий в корпусных деталях в условиях автоматизации обработки мелкосерийного производства является совмещение переходов и существенное сокращение времени на подналадку инструмента.

Для этого разрабатываются специальные приспособления для повышения производительности, которое, в частности, может быть достигнуто применением многошпиндельных головок для концентрации переходов сверления и резьбонарезания.

Разработаны многошпиндельные головки, у которых имеются два, три или четыре шпинделя, вращение которых осуществляется с той же частотой, что и вращение шпинделя с сохранением направления вращения. Основные размеры многошпиндельных головок показаны на рис. 6.12.

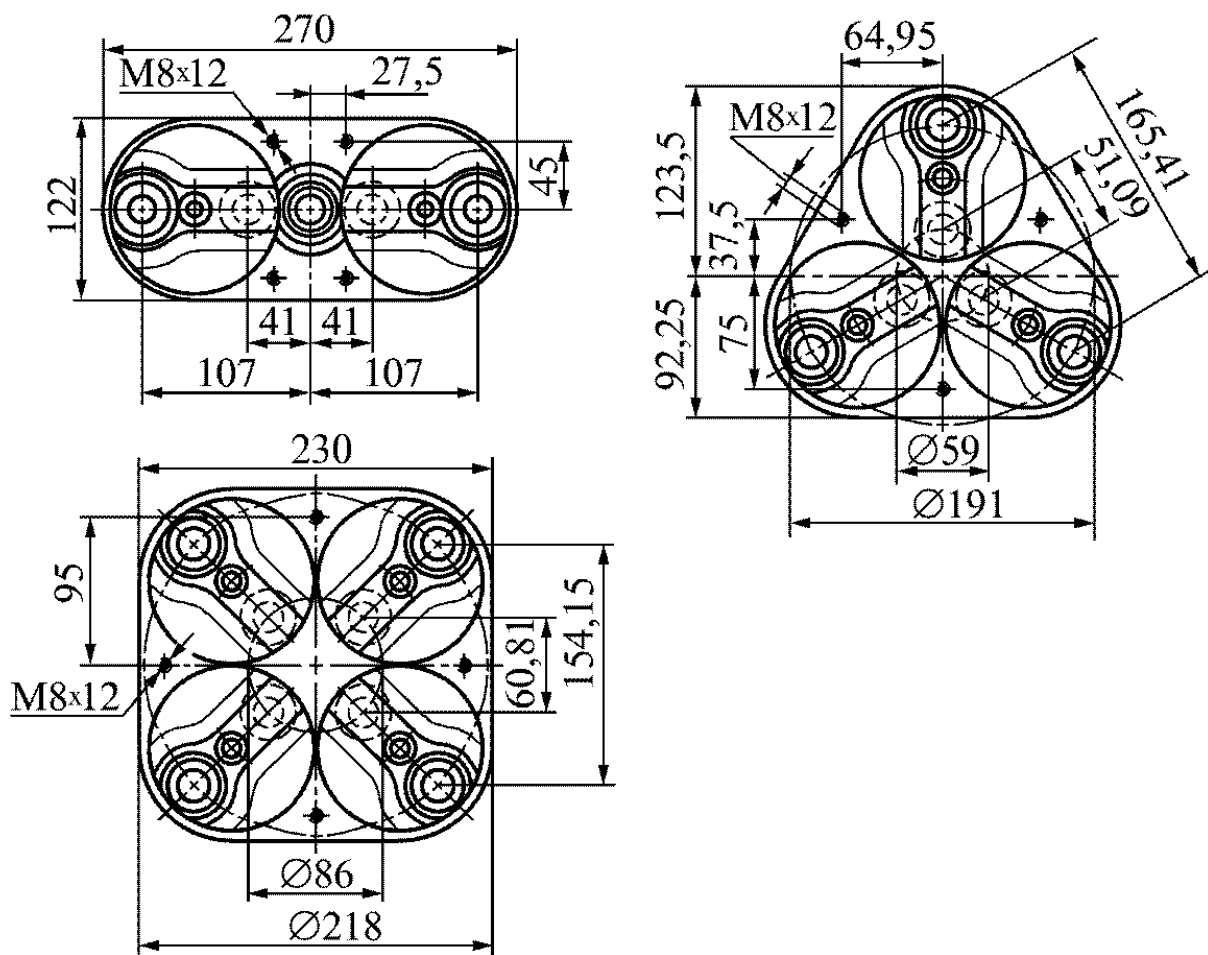


Рис. 6.12. Многошпиндельные головки для сверления и нарезания резьбы

Во всех головках применены сменные цанги для закрепления РИ с цилиндрическими хвостовиками диаметром 1–16 мм и специальные быстросменные втулки с встроенными предохранительными муфтами для крепления метчиков для нарезания резьбы в диапазоне М3–М24.

В конструкции угловой односторонней головки с углом $\alpha = 45^\circ$ для насадных фрез (рис. 6.13) коническая шестерня 6, закреплена на хвостовике 1 и находится в зацеплении с шестерней 10, которая закреплена на шпинделе 8 с конусом Морзе 3. Закрепление инструмента в шпинделе 8 осуществляется путем вращения гайки 11 и осевого перемещения болта 12.

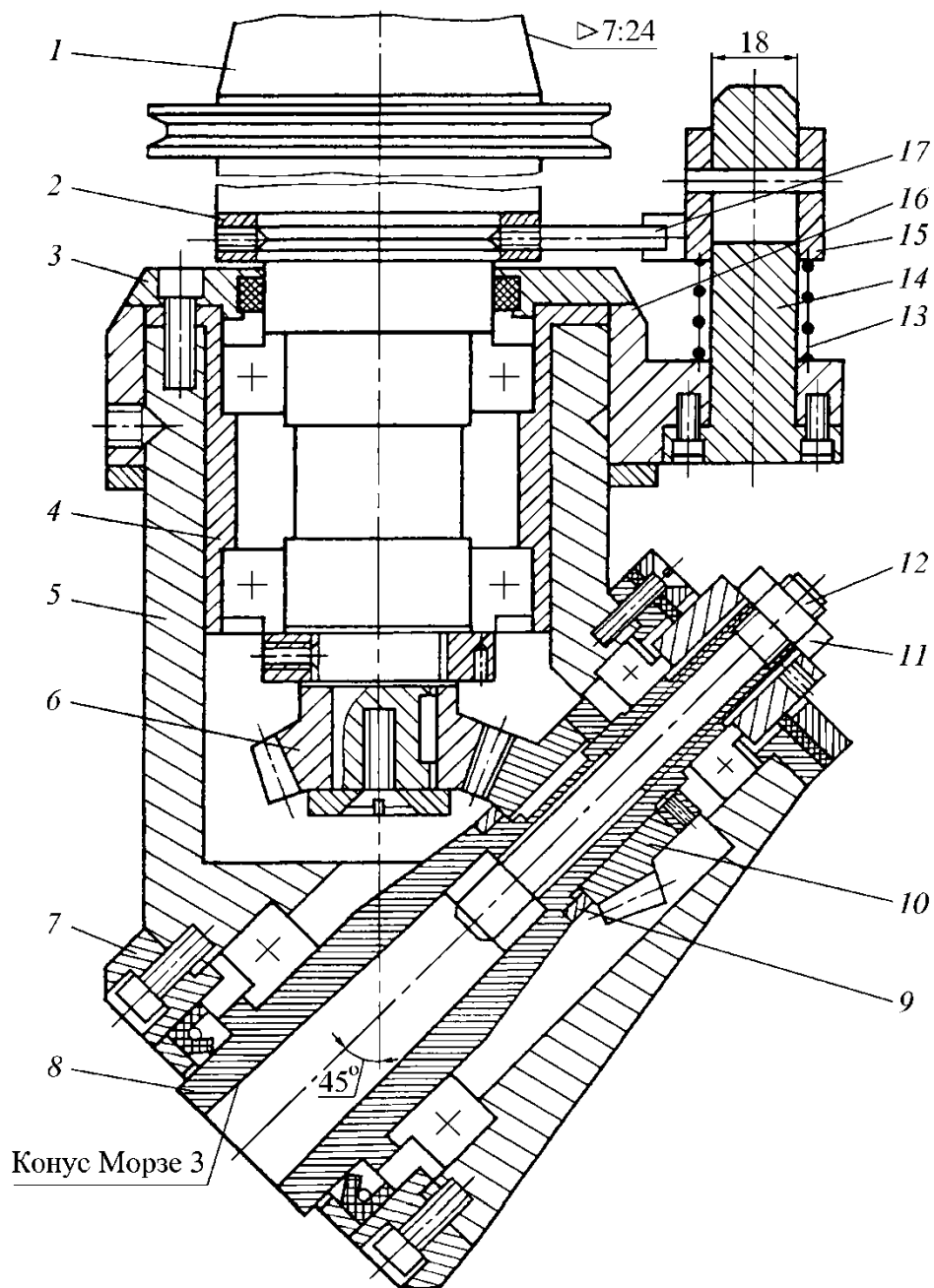


Рис. 6.13. Угловая фрезерная головка для насадных фрез

Узел шпинделя 8 фиксируется в корпусе головки 5 крышкой 7 и проставкой 9. Необходимая жесткость головки достигается применением радиальных упорных подшипников, размещенных в стакане 4 и закрытых крышкой 3. Регулировка положения оси шпинделя 8 относительно шпоночных пазов хвостовика 1 осуществляется поворотом кольца 16 с размещенным в нем сухарем 14, который предназначен для соединения с позиционирующим блоком, расположенным на шпиндельной бабке.

Во время входа хвостовика 1 в коническое отверстие шпинделя станка ползун 15 после контакта с позиционирующим блоком перемещается по суха-

рю 14, сжимая пружину 13. При этом поводок 17, размещенный в кольце 2, выходит из зацепления с ползуном 15; корпус 5 останавливается в заданном положении, а хвостовик 1, вращаясь, передает крутящий момент на шпиндель 8. По окончании работы шпиндель станка останавливается в определенном угловом положении. Пружина 13 выталкивает ползун 15, и в результате корпус 5 оказывается в необходимом исходном положении.

Для обеспечения хорошего качества внутренней резьбы, нарезаемой метчиками, необходим комплекс мероприятий, связанных с геометрией и качеством заточки метчиков, с выбором режима резания и подбором состава смазывающе-охлаждающей жидкости в зависимости от материала обрабатываемой детали.

Большое значение имеет также правильный выбор приспособления для закрепления резьбонарезного инструмента на станке. Практика эксплуатации ГПС показывает, что основными причинами появления брака при нарезании резьбы метчиками являются биение шпинделя станка и патрона, а также отсутствие свободного перемещения инструмента в осевом направлении.

При разработке конструкции приспособления для закрепления метчиков (резьбонарезных патронов) необходимо выполнять следующее: а) обеспечивать соосность инструмента и установочного отверстия патрона; б) уравнивать осевую составляющую силы резания; в) разгружать инструмент от действия внешних сил, направленных по его оси, от действия внешних радиальных сил; г) предохранять метчик от поломки под действием момента, превышающего величину крутящего момента, допускаемого прочностью метчика; д) обеспечивать надежность работы, удобство эксплуатации и простоту изготовления.

В указанных приспособлениях могут применяться два способа нарезания резьбы на станках: а) способ самозатягивания без принудительной подачи метчика; б) способ копирования с принудительной подачей. Чаще применяют первый способ.

На станках с ЧПУ со столами более 500×500 мм при перемещении узлов возникают значительные силы сопротивления движению. В тех случаях, когда подача узла не равна шагу нарезаемой резьбы, применяют резьбонарезные патроны с пружинными компенсаторами, обеспечивающими возможность осевого перемещения метчика или плашки, не зависящего от перемещения шпинделя.

Когда существует опасность перегрузки и поломки метчика (нарезание резьбы в глухих отверстиях, износ метчика, защемление его стружкой и т.п.), применяют предохранительные самовыключающиеся резьбонарезные патроны.

Такие патроны настраивают на допускаемую величину крутящего момента. Они автоматически выключаются, если момент сил сопротивления превышает величину заданного крутящего момента. На станках, не имеющих обратного вращения шпинделя, резьбу нарезают с помощью предохранительных реверсивных патронов. В случаях, когда ось отверстия после предварительной обработки может быть совмещена с осью шпинделя станка в пределах 0,1 мм, применяют жесткое крепление метчика. Если невозможно такое совмещение, то применяют «плавающие» (самоустанавливающиеся) патроны.

Патрон для метчиков (рис. 6.14) с «плавающим» механизмом обеспечивает высококачественное нарезание резьбы. Патрон состоит из корпуса 1, в отверстии которого на шариках 2, установленных в сепараторе 3, перемещается в пределах хода 6–20 мм пиноль 4, находящаяся в исходном положении под действием пружин 5 и 6.

Патроны имеют осевое перемещение на растяжение F и сжатие F_1 , рассчитанное на компенсацию разности между подачей станка и шагом нарезаемой резьбы. Вращение от корпуса 1 к пиноли 4 передается шариками 7. Крепление предохранительной головки производится шариками 8 при перемещении втулки 9 пружиной 10.

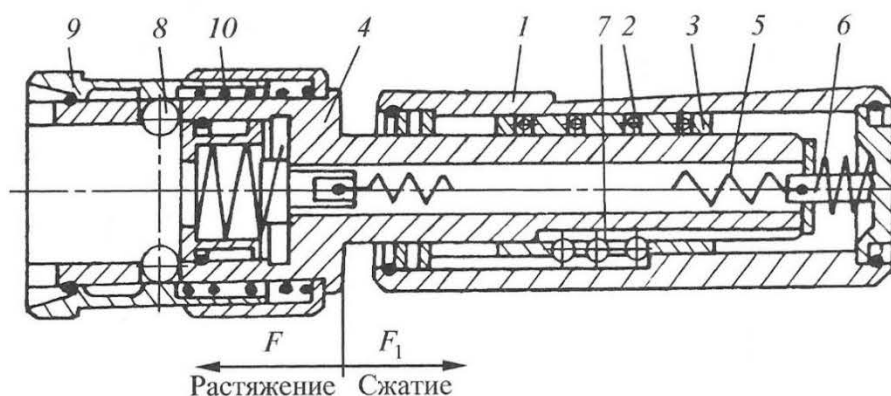


Рис. 6.14. Патрон для метчиков с «плавающим» механизмом

Быстросменное снятие предохранительной головки происходит при перемещении втулки 9 вдоль оси патрона к корпусу 1, при этом упор 12 под действием пружины 11 выталкивает головку и выдавливает шарики 8 из отверстия пиноли 4, создав удобства при последующей установке головки.

Предохранительные головки для патрона по рис. 6.14 имеют несколько типоразмеров и применяются для нарезания резьбы метчиками различных исполнений (рис. 6.15). Головки имеют встроенный механизм регулировки крутящего момента, что позволяет предохранить метчики от поломки и нарезать резьбы в материалах с различными механическими свойствами.

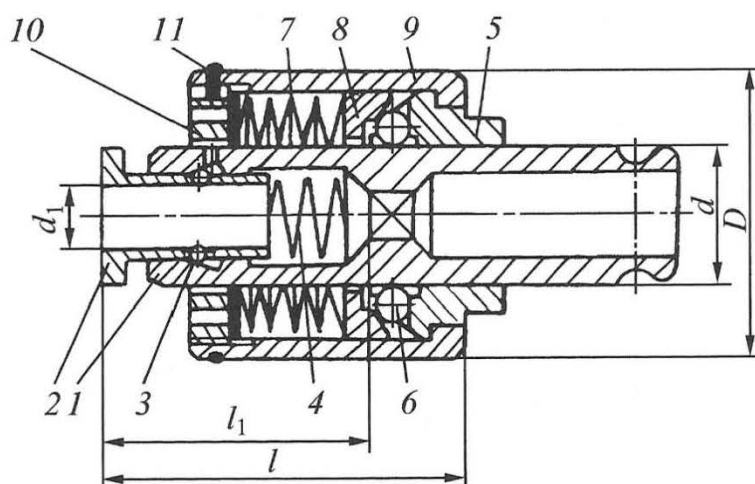


Рис. 6.15. Предохранительные головки для резьбонарезного патрона

Метчик устанавливается в квадратное отверстие корпуса *1* и втулку *2*. Зажим метчика осуществляется шариками *3* при перемещении втулки *2* пружиной *4*. Крутящий момент к корпусу *1* передается поводком *5* через шарики *6*, поджатые тарельчатыми пружинами *7* и кольцом *8* в лунки корпуса. Регулировка крутящего момента обеспечивается изменением величины деформации тарельчатых пружин *7* гайкой *10*.

При неправильной регулировке крутящего момента во время нарезания резьбы в глухих отверстиях возникает эффект «трещетки» в головке, что сигнализирует о недостаточно отрегулированном крутящем моменте при упоре метчика в дно отверстия.

Конструкции приспособлений для крепления инструмента на токарных станках с ЧПУ определяются его основными элементами: присоединительными поверхностями для установки его на станке и для установки режущего инструмента. Устройства, осуществляющие автоматическую смену инструмента и его крепление на станке, определяют конструкцию хвостовика, который должен быть одинаковым для всего инструмента к данному станку.

На токарных станках с ЧПУ в подавляющем большинстве поступают заготовки из проката или точные штамповки. Если диаметр заготовки из проката меньше 50 мм, ее можно использовать для изготовления нескольких деталей, если диаметр больше 50 мм, то для одной детали. При обработке в центрах заготовки из проката должны иметь обработанные торцы и центровые отверстия с обеих сторон, допуск на длину не должен превышать +0,6 мм. При обработке в патроне заготовки из проката используют без предварительной обработки и лишь при необходимости получения отверстия большого диаметра желательно подготовить его, предварительно оставив соответствующий допуск.

На токарных станках с ЧПУ с револьверными головками с закреплением деталей в кулачковых самоцентрирующих патронах переходы выполняют в следующей последовательности: а) центрирование (если сверлят отверстие диаметром меньше 20 мм); б) сверление; в) черновая обработка основных поверхностей; г) черновая и чистовая обработка дополнительных поверхностей; д) чистовая обработка внутренних и наружных основных поверхностей; е) обработка внутренних и наружных, в том числе торцовых дополнительных, поверхностей, не требующих черновой обработки, включая отрезку.

Для каждого перехода должны быть собраны и установлены в револьверную головку соответствующие сборки из резцов, сверл, фрез и державок.

Сборки имеют стандартный цилиндрический хвостовик с лыской, на которой имеются рифления (см. табл. 6.11). Базирование производится по цилиндру хвостовика, обеспечивающему точную угловую установку, и торцу.

Типовой резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком и с перпендикулярным открытым пазом под резцы различных типов приведен на рис. 6.16.

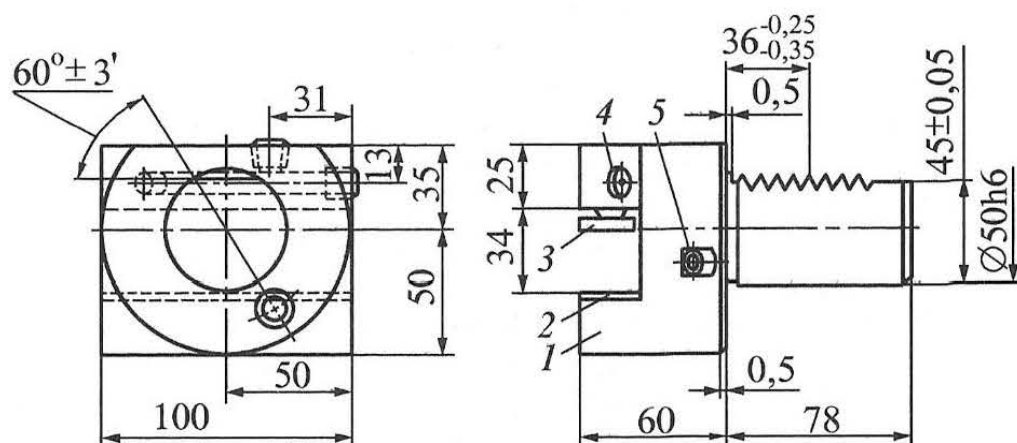


Рис. 6.16. Резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком и с перпендикулярным открытым пазом под резцы

Для установки резца по высоте центров служит подкладка 2. Крепление резца осуществляется с помощью винтов и прижимной планки 3. Подача смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания осуществляется через канал в корпусе 1, образованный пересекающимися отверстиями и заканчивающийся шариком 4, позволяющим регулировать направление подачи СОЖ. Винт 5 служит для регулировки положения резца. Резцедержатель закрепляется в револьверной головке за цилиндрический хвостик при помощи клина, имеющего рифления, смещенные относительно рифлений хвостовика. В результате резцедержатель прижимается к револьверной головке силой до 4 кН [6].

Для многооперационных токарных станков с ЧПУ, предназначенных кроме точения еще и для сверлильно-фрезерной обработки, применяют державки с вращающимся шпинделем, в котором закрепляют сверла, метчики и другой инструмент, необходимый для обработки отверстий, не лежащих на оси вращения заготовки.

Державка с цанговым патроном (рис. 6.17) состоит из корпуса 1 и шпинделя 2, установленного в подшипниках 3, 4 и 8, натяг которых обеспечивается пружинящей гайкой 5. Уплотнение подшипника 8 со стороны рабочей зоны осуществляется манжетой 9, расположенной в крышке 13. После регулировки осевого положения муфты 6, через которую передается крутящий момент, она фиксируется винтом 7.

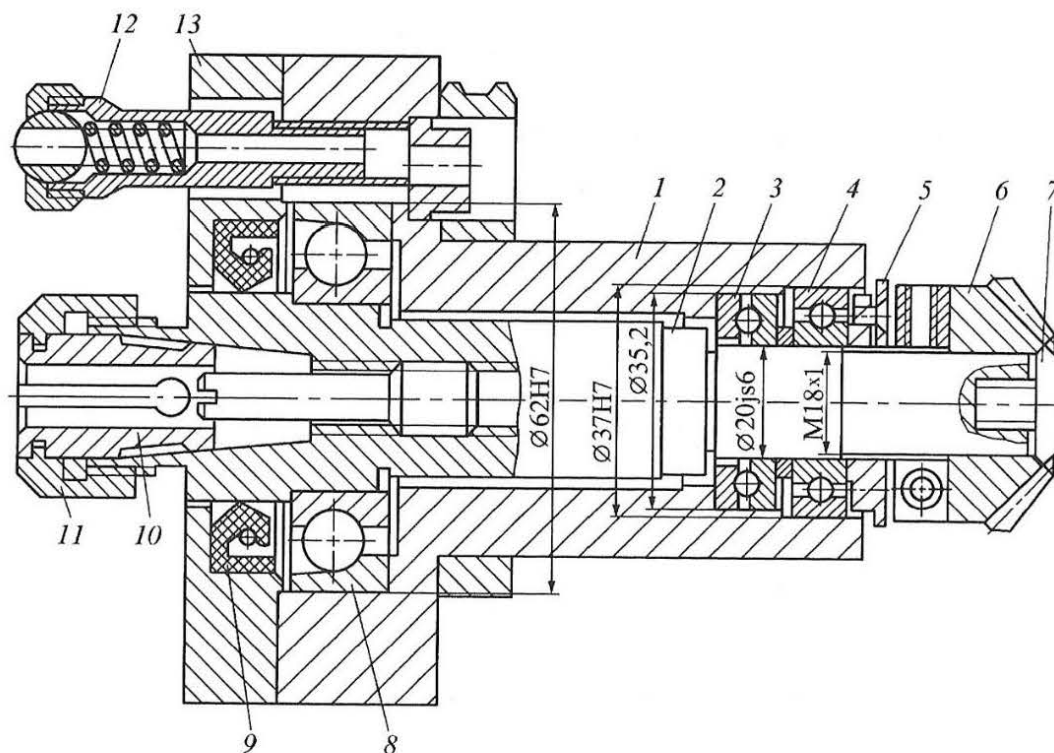


Рис. 6.17. Державка с цанговым патроном для вращающегося осевого инструмента

Для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком используются гайка 11 и цанга 10. Подача СОЖ в зону резания осуществляется с помощью спринклера 12.

ГЛАВА 7. СИСТЕМЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

7.1. Синтез системы приспособлений для закрепления инструмента

Традиционный метод проектирования приспособлений для закрепления инструмента требует высоких стоимостных и временных затрат и, несмотря на это, не обладает возможностью системного решения задач конструирования. Как правило, он базируется на предыдущем опыте конструктора с привлечением информационных источников на уровне стандартов и нормалей. Использование иной информации (проспекты фирм, авторские свидетельства и т.п.) невозможно из-за отсутствия необходимых указаний по технологии изготовления и из-за трудностей организации производства.

Автоматизированное проектирование приспособлений для закрепления инструмента позволяет устранить указанные недостатки традиционного проектирования. Оно осуществляется на базе унифицированных нормализованных проектных решений, описание которых хранится в серверах ЭВМ. В состав постоянно запоминаемой информации входят библиотека конструктивных элементов (БЭК), библиотека типовых изображений (БТИ), каталог сведений об оборудовании (КСО), нормативно-справочные материалы (НСМ), спецификационные массивы (СПМ), сведения об условиях производства (СУП). Укрупненная схема автоматизированного проектирования такого вида приспособлений, как вспомогательный инструмент, представлена на рис. 7.1.

Задачей автоматизированного проектирования является получение комплекта технологических документов, включающих сборочные чертежи отдельных конструкций вспомогательного инструмента. Рабочие чертежи его деталей, чертежи компоновок базисных агрегатов и сменных наладок, программы для наладки инструмента и сборки компоновок, а также маршрутные карты технологических процессов, ведомости заготовок и покупных изделий и ведомости затрат на изготовление инструмента, каталог систем базирования и закрепления инструмента.

Для автоматизированного синтеза компоновок систем базирования и закрепления инструмента в системы инструмента необходимы три этапа процесса синтеза. На первой стадии выбирается и анализируется информация, характеризующая систему базирования и закрепления; на второй — осуществляется выбор конструктивного воплощения типов вспомогательного инструмента; на третьей — их объединение в конкретную систему.



Рис. 7.1. Укрупненная схема автоматизированного проектирования приспособлений для закрепления инструмента

Под конструктивным воплощением типа приспособлений для закрепления инструмента понимается совокупность систем базирования и закрепления, выполняющих ту или иную вспомогательную функцию. Например, для базирования и закрепления сверла диаметром 18 мм на горизонтальном станке с автоматической сменой инструмента с конусом 40 необходимо синтезировать один из двух типов инструментальной оснастки, предусмотренных классификацией (см. рис. 6.1), и соответствующую сборку на его основе.

В основу алгоритмизации выбора типов приспособлений для закрепления инструмента (вспомогательного инструмента) иборок (компоновок) может быть положен расчетный метод анализа точности выполнения оснащаемой технологической операции [2, 5].

Все системы приспособлений для базирования и закрепления режущего инструмента, применяемые на автоматизированном оборудовании для обработки определенного класса деталей, распределяются по схемам установки, каждой из которых соответствует одна или несколько систем базирования и закрепления.

Составление соответствий между системами базирования и закрепления и схемами установки инструмента является важным моментом. Возможность построения соответствий основывается на конечности числа систем базирования и закрепления и схем установки инструмента для классов обрабатываемых деталей и соответствующего оборудования.

Ожидаемая погрешность обработки ΔRk_i в общем виде от погрешностей установки инструмента имеет вид:

$$\Delta Rk_i = f(\Delta_i) \quad (7.1)$$

Известно, что повышение точности установки влечет за собой увеличение затрат на изготовление реализующих ее элементов и их эксплуатацию. Поэтому упорядочение систем базирования по возрастанию затрат будет одновременно их упорядочением по возрастанию точности (снижению погрешности обработки).

Учитывая сказанное, алгоритм выбора системы приспособлений для базирования и закрепления режущего инструмента строится согласно схеме, приведенной на рис. 7.2.

Центральным оператором алгоритма является проверка неравенства:

$$\Delta Rk_i = \Delta - \sum \delta_i \quad (7.2)$$

где Δ — заданная точность выполнения перехода (допуск на выдерживаемый размер);

$\sum \delta_i$ — ожидаемые погрешности не зависящие от конструкции приспособления.

В разработанном программном обеспечении предусматривается возможность осуществлять агрегатирование приспособлений по типу универсально-наладочных, исходя из требований точности базирования и закрепления, а также силовых характеристик и жесткости, предъявляемых к синтезируемым системам.

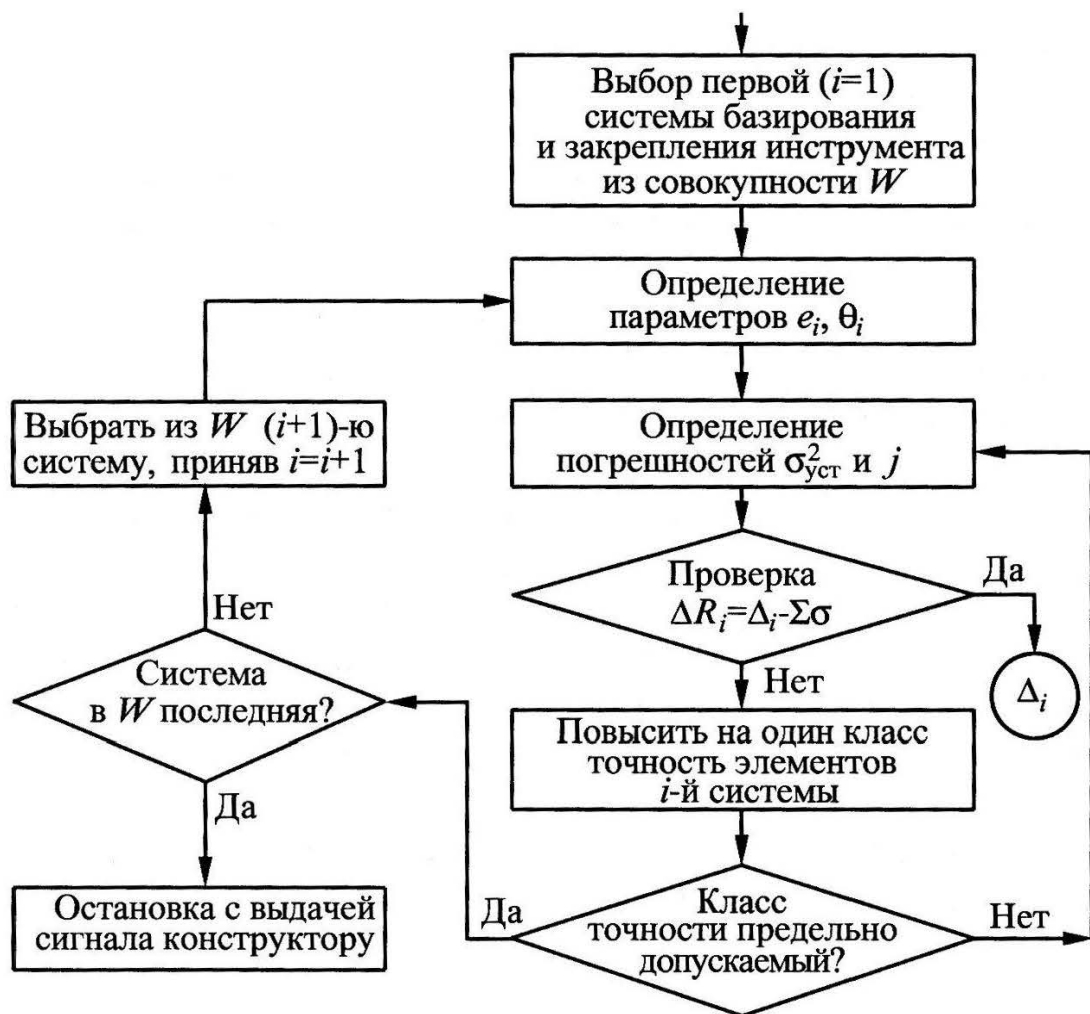


Рис. 7.2. Укрупненная схема алгоритма выбора системы базирования и закрепления инструмента

Эти требования задаются структурной формулой системы (рис. 1.11), рядом логических условий, связанных с особенностями станков (см. рис. 6.6 и табл. 6.18), размерами обрабатываемых деталей и множеством начальных и конечных вершин матриц систем базирования и закрепления инструмента (7.2).

Общая погрешность обработки ε_{noy} в направлении координаты Y из выражения (7.2) определяется из выражений (1.26 и 1.27), укомплектованных конкретными значениями e_i, J_y .

Анализ результатов исследований элементов и компоновок систем базирования и закрепления режущего инструмента на различном автоматизированном оборудовании позволяет произвести комплектацию конкретными значениями $\Delta_{уст}$, e_i и θ_i в зависимости от зазоров Δ_i и $\Delta\alpha_i$ в соединениях систем базирования и закрепления инструмента.

Выполненные расчеты по алгоритму показывают: для крепления режущего инструмента на многооперационных станках с ЧПУ возможно использовать аг-

регатированный вспомогательный инструмент, собранный на базе цилиндрического соединения с односторонним прижимом винтами. При этом достаточно иметь одну конструкцию базисного агрегата с конусом 40 одной длины и две конструкции базисных агрегатов с конусом 50 двух длин: короткую и удлиненную.

Базисные агрегаты, сменные наладки и режущий инструмент формируют систему приспособлений для закрепления режущего инструмента. На рис. 7.3 приведена схема сборки приспособлений инструмента этой системы в инструментальные блоки для крепления в шпинделе многоцелевого станка.

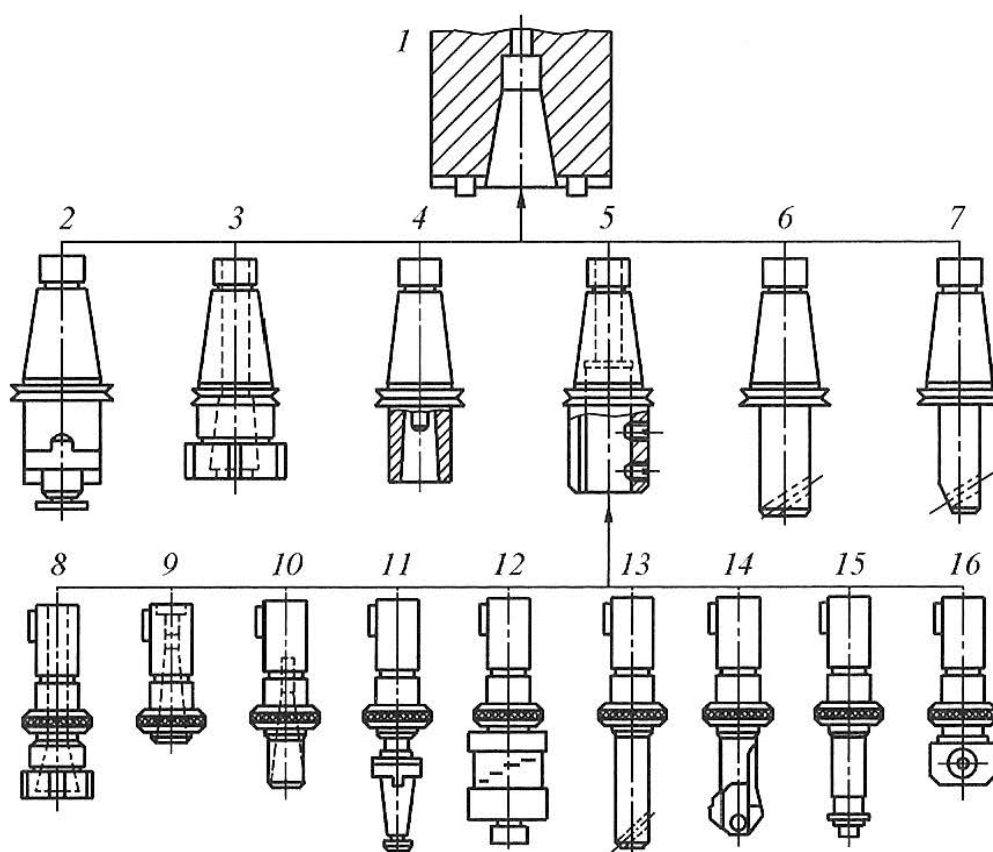


Рис. 7.3. Схема сборки базисных агрегатов и сменных наладок системы приспособлений для закрепления режущего инструмента

В синтезированную схему сборки приспособлений инструмента включены оправки 2 с торцовыми и продольными шпонками, предназначенные для крепления торцовых, трехсторонних, цилиндрических и других фрез. Цанговые патроны 3 и 4 являются средством крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком: сверл, зенкеров, разверток и концевых фрез диаметром 3–10 мм. Переходные втулки 4 предназначены для инструмента с конусами 1:10 систем инструментальной оснастки «Capto» (Sandvik Coromant) или KM (Kennametal).

В схему на рис. 7.3 включены оправки 6 с наклонными гнездами под резцовые вставки с микрометрическим регулированием для чистовой обработки отверстий диаметром 540 мм, а также однолезвийные оправки 7 для чернового растачивания отверстий диаметром 5–40 мм, в которых предусмотрено использование расточных державочных резцов.

Базисные агрегаты 5 с наружным конусом 7:24 служат для базирования и закрепления следующих сменных наладок: цанговых патронов 8, переходных цилиндрических втулок 9 и 10, оправок 11 для насадных зенкеров и разверток, патронов 12 для метчиков, расточных оправок 13, оправок для расточных пластин 14, оправок для дисковых фрез 15, расточных патронов 16.

Основными составляющими экономической эффективности у изготовителя систематизированных приспособлений для закрепления режущего инструмента являются:

- 1) сокращение затрат на конструкторскую и технологическую подготовку производства;
- 2) уменьшение доли резервного оборудования для специальных заказов;
- 3) сокращение затрат на технологическую оснастку 2-го рода;
- 4) повышение технического уровня заготовительного производства и уменьшение припусков на заготовках;
- 5) сокращение затрат на хранение и упаковку готовой продукции.

Основными составляющими эффективности внедрения системы приспособлений для закрепления режущего инструмента у потребителя являются:

- 1) возможность изготовления сменных наладок со специальными размерами собственными силами при необходимости;
- 2) ускорение обеспечения оборудования инструментом при переходе на изготовление новых деталей;
- 3) при необходимости упрощенная подналадка инструмента на станке;
- 4) сокращение затрат на хранение и подготовку инструмента к работе.

Важно, что система универсально-наладочных приспособлений позволяет расширять номенклатуру покупных сменных наладок в процессе эксплуатации оснащаемого оборудования как по спецификации, так и по количеству.

При этом темп расширения замедляется с увеличением количества типов обрабатываемых деталей. Например, если количество приспособлений для закрепления режущего инструмента, необходимых для отладки и запуска технологического процесса обработки первой детали принять за 100%, то прирост их количества на пятую деталь составит для ГПС из четырех станков всего 26% от первоначального количества, а на 12-ю деталь — только 6%.

7.2. Унификация приспособлений для многоцелевых станков

Дальнейшее развитие инструментальной оснастки для токарных станков с ЧПУ привело к замене стандартных резцов, закрепляемых в резцедержателях, на специальные конструкции (рис. 7.4).

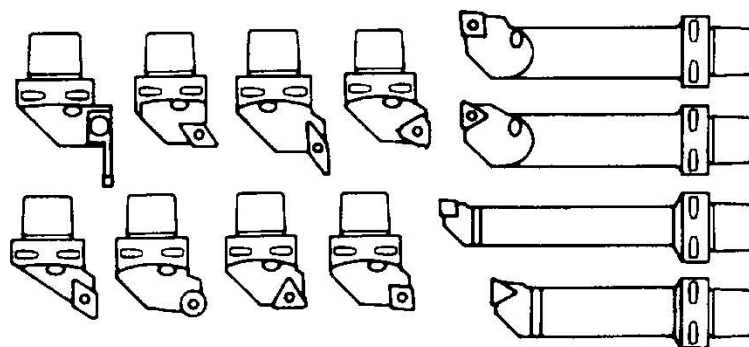


Рис. 7.4. Специальные конструкции резцов для токарных станков

Важным преимуществом такого решения является возможность применения одних и тех же конструкций вращающегося инструмента как на токарных, так и на фрезерно-сверлильно-расточных многоцелевых станках с ЧПУ (рис. 7.5).

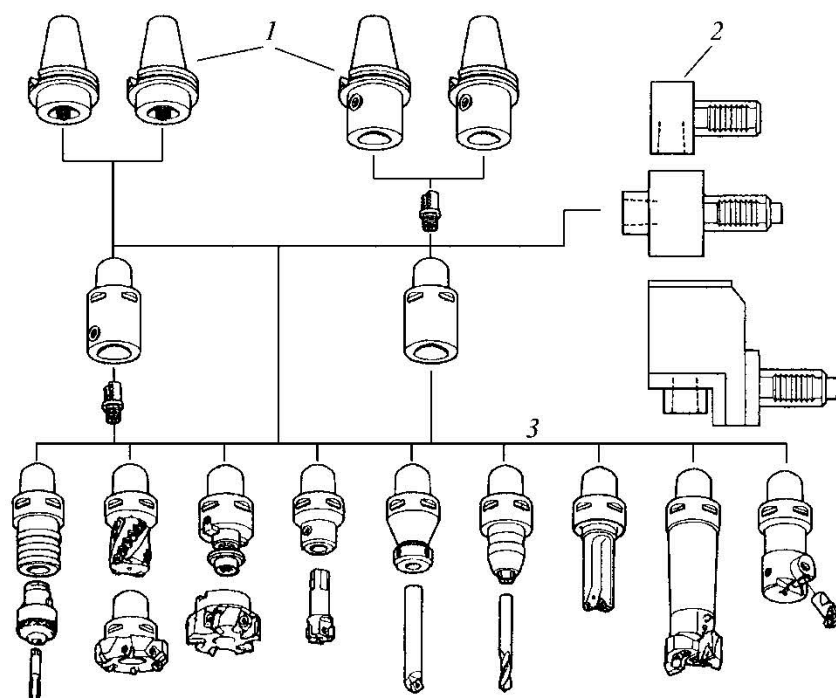


Рис. 7.5. Патроны 1 и резцедержатели 2 для вращающегося инструмента

В качестве базирующих в специальных конструкциях используют конические хвостовики конусностью 1:10 (угол конуса $5^{\circ}43'29,3''$) с размерами фланца для торцового контакта по нормальному ряду (рис. 7.6).

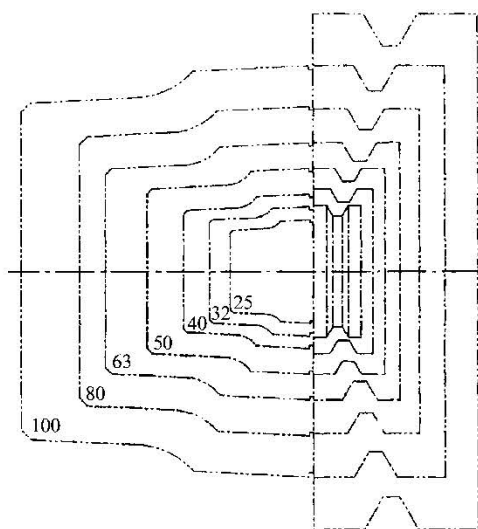


Рис. 7.6. Типоразмеры хвостовиков специальных конструкций

Это приближает названные конструкции к инструментальной оснастке с хвостовиками HSK (см. раздел 6.1) и обеспечивает дальнейшую унификацию инструмента.

Унифицированы конструкции проходных, канавочных и расточных резцов (рис. 7.7) сверл и других инструментов.

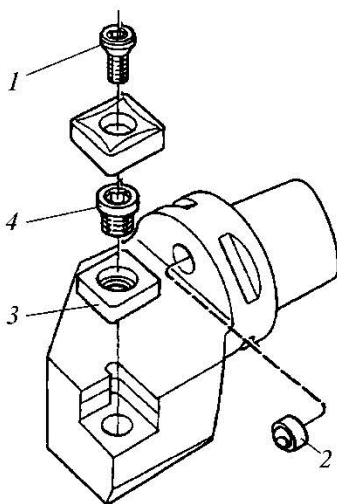


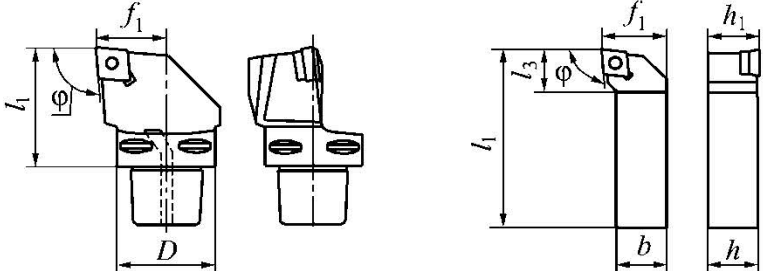
Рис. 7.7. Проходной резец SCLC с пластиной CCMT с хвостовиком «Capto»:

1 — винт; 2 — спринклер для подачи СОЖ;
3 — подкладка; 4 — резьбовая втулка

Сравнение размеров специальных конструкций и стандартных проходных резцов с главным углом в плане $\phi = 95^\circ$ приведено в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Сравнение размеров специальных конструкций
и стандартных проходных резцов SCLC с $\phi = 95^\circ$, мм

									
l	D	f_1	l_1	b	f_1	h	h_1	l_1	l_3
9	32	22	40	12	16	12	12	80	19,5
	40	27	50						
	50	35	60	16	20	16	16	100	18,0
	63	45	65	20	25	20	20	125	18,0
12	32	22	40	20	25	20	20	122	25,0
	40	27	50						
	50	32	60	25	32	25	25	150	26,0
	63	45	65						

Примечание. l — длина режущей кромки.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) разработала систему «Coromant Capto», в которой инструмент снабжен хвостовиком, имеющим в сечении трехгранную форму с радиусными скруглениями (см. рис. 7.7). Этими хвостовиками резцы 1 и другие специальные конструкции базируются и закрепляются в резцедержателях 2 (рис. 7.8).

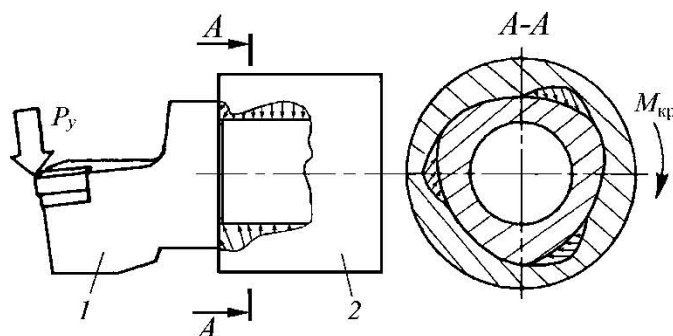


Рис. 7.8. Соединение «Coromant Capto»:
 1 — резец; 2 — резцедержатель

Такая форма получила название «РК-профиль» и отличается от обычных конусов следующими преимуществами: а) повышенная жесткость и надежность крепления; б) равномерное распределение напряжений при передаче крутящего момента $M_{кр}$; в) более высокая жесткость при нагружении силой резания P_y при сопоставимой массе. Для хвостовиков «Capto» принято кодирование по диаметрам фланцев 32 мм (код С3), 40 мм (код С4), 50 мм (код С5), 63 мм (код С6) и 80 мм (код С8).

Принцип закрепления инструмента с хвостовиком «Capto» показан на рис. 7.9.

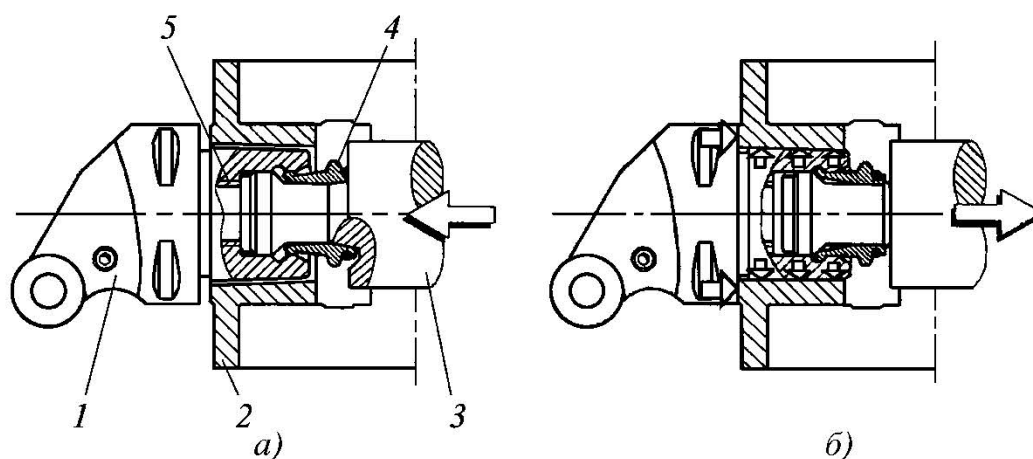


Рис. 7.9. Закрепление инструмента с хвостовиком «Capto»:
1 — резец; 2 — резцедержатель; 3 — тяга; 4 — сегмент; 5 — резьба

На первом этапе закрепления (рис. 7.9, а) тяга 3 с сегментами 4 входит в отверстие хвостовика. После перемещения в обратном направлении тяга 3 своей тороидальной поверхностью раздвигает сегменты 4 до их взаимодействия с расточкой специального профиля. Дальнейшее перемещение тяги 3 приводит к упругой деформации хвостовика и к контакту торцовых поверхностей его фланца и резцедержателя (рис. 7.9, б). При соединении модулей используется также резьба 5 (рис. 7.9, а), в которую вворачивается стягивающий болт.

При ручной смене инструмента с хвостовиками «Capto», например, в резцедержателях по ГОСТ 24900–81, для перемещения тяги 3 (см. табл. 6.11) применяется эксцентриковый зажим (рис. 7.10), когда тяга 3 перемещается путем поворота кулачка.

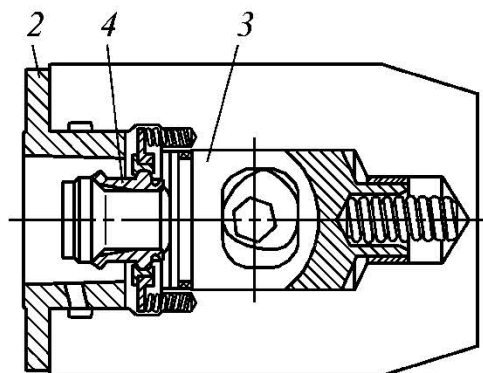


Рис. 7.10. Резцедержатель с устройством для ручного закрепления хвостовиков «Capto» (обозначения — см. рис. 7.9)

При автоматической смене используются специальные держатели с гидромеханическим закреплением хвостовиков «Capto» (рис. 7.11 и табл. 7.2.).

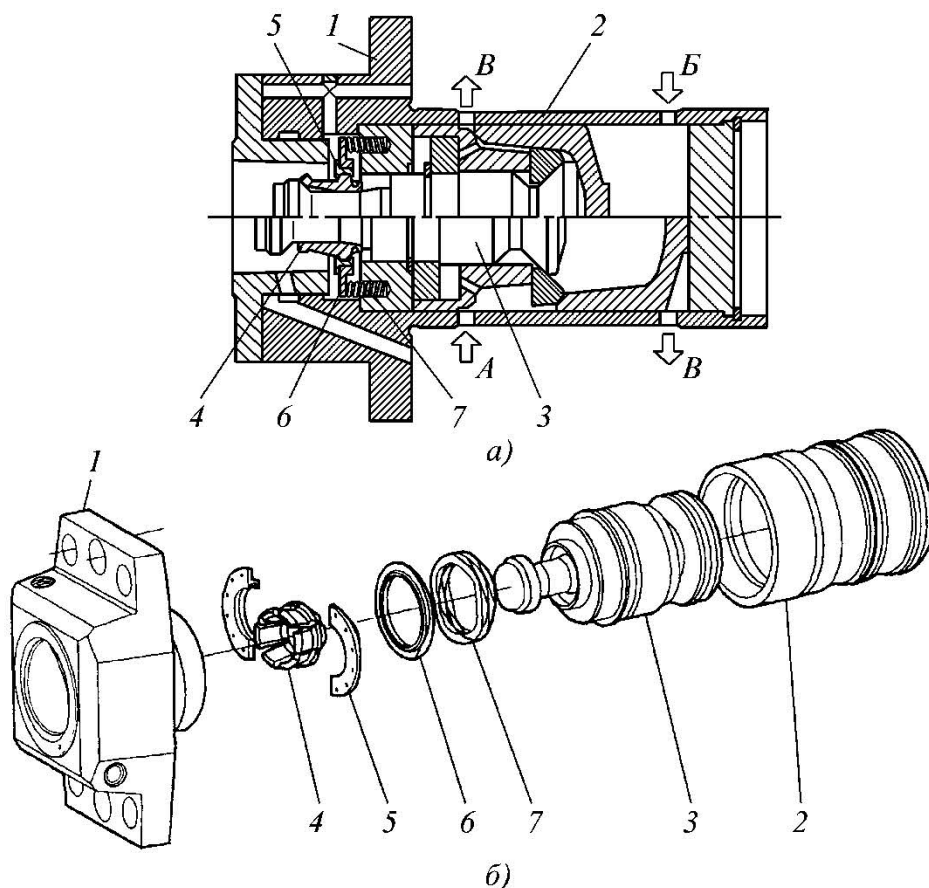


Рис. 7.11. Держатель для автоматического закрепления хвостовиков «Capto»: *а* — держатель в сборе; *б* — детали держателя

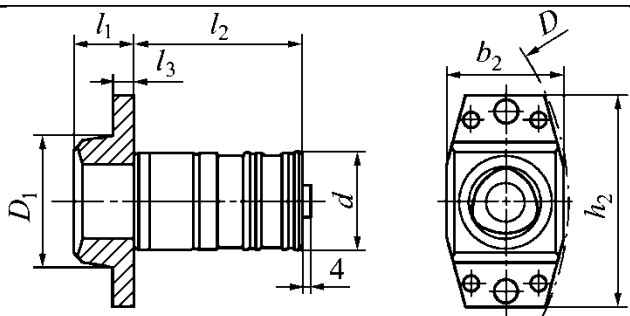
К фланцу 1, служащему для фиксации держателя в револьверной головке, присоединяется цилиндр 2, в котором размещается тяга 3.

На тяге 3 с помощью полуколец 5 устанавливаются сегменты 4, подпружиненные кольцом 6 или шестью цилиндрическими, или одной плоской пружинной пружиной.

жиной 7. При подаче масла по стрелке *Б* (рис. 7.11, *а*) тяга 3 с сегментами 4 перемещается в отверстие хвостовика «Capto», после подачи масла по стрелке *А* тяга 3 раздвигает сегменты 4 и закрепляет инструмент. Стрелками *В* показаны каналы отвода масла.

Таблица 7.2

**Основные размеры держателя для гидромеханического
закрепления хвостовиков «Capto», мм**

								
Код	b_2	D_1	D^*	h_2	l_1	l_2	l_3	d
C4	48	56	260	96	25	74	10	42
C5	64	70	300	112	35	88	12	55
C6	84	90	400	143	40	105	16	70
C8	100	110	500	180	50	120	20	90

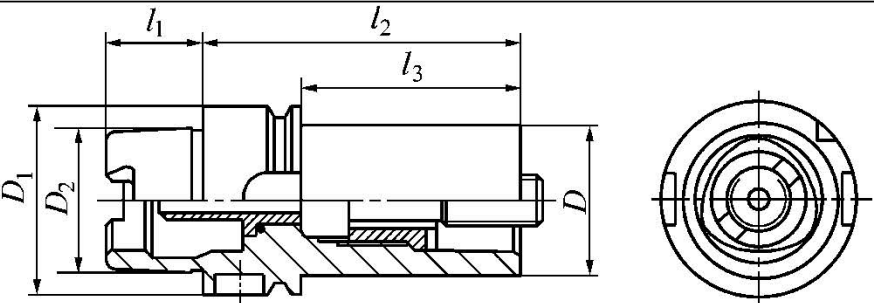
* Минимальный диаметр револьверной головки для встраивания держателя.

Для самостоятельного изготовления специального режущего инструмента фирмой Sandvik Coromant предлагаются заготовки с окончательно обработанными посадочными поверхностями хвостовика «Capto», прошедшими термообработку и шлифовку. Передняя часть заготовки позволяет легко произвести механическую обработку, так как изготавливается из стали типа 25ХМ4 с твердостью 270–325 НВ, допускающей последующую закалку и отпуск. Термическая обработка после механической обработки выполняется путем местного индукционного нагрева.

Для установки инструмента «Coromant Capto» в шпинделях с конусом HSK станков с ЧПУ фрезерной и сверлильно-расточной групп применяют специальные переходники, основные размеры которых приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**Конструкция переходника для крепления инструмента
«Coromant Capto» в шпинделях с конусом HSK**

							
Конус шпинделя по DIN 69893 HSK-A	Код хвостовика «Capto»	D	D_1	D_2	l_1	l_2	l_3
40	C3	32	40	30	20	65	45
50		32	50	38	25	75	49
63		32	63	48	32	75	49
80		32	80	60	40	80	54
100		32	100	75	50	80	51
50	C4	40	50	38	25	80	54
63		40	63	48	32	80	54
80		40	80	60	40	90	64
100		40	100	75	50	90	61
63	C5	50	63	48	32	90	64
80		50	80	60	40	95	69
100		50	100	75	50	100	71
80	C6	63	80	60	40	110	84
100		63	100	75	50	110	81
100	C8	80	100	75	50	120	91

Наряду с хвостовиком «Capto» применяются система приспособлений «KM WIDAFLEX», созданная совместно фирмами Kennametal (США) и WIDIA (Германия), и конструкция под названием «TIZIT Maxiflex UTS-MIY», которая выпускается фирмой CERATIZIT (Люксембург).

Система инструмента «TIZIT Maxiflex UTS-MIY» поставляется для оснащения многоцелевых токарных станков «Mazak Integrex» типоразмеров 100, 200, 300, 400, Y и SY японской станкостроительной фирмы Yamazaki Mazak.

Применение малогабаритного инструмента со специальными хвостовиками обеспечивает существенную экономию площадей, занимаемых станками. Высокая повторяемость положения режущих кромок позволяет сократить количество измерительных переходов, подналадок и смен инструмента.

Закрепление хвостовиков «KM WIDAFLEX» осуществляется автоматически или вручную. Схематически процесс ручного закрепления показан на рис. 7.12.

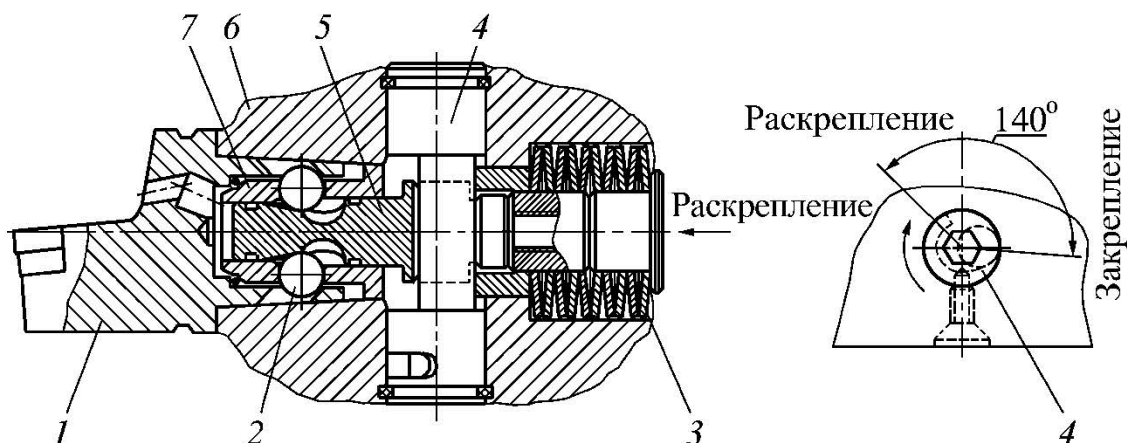


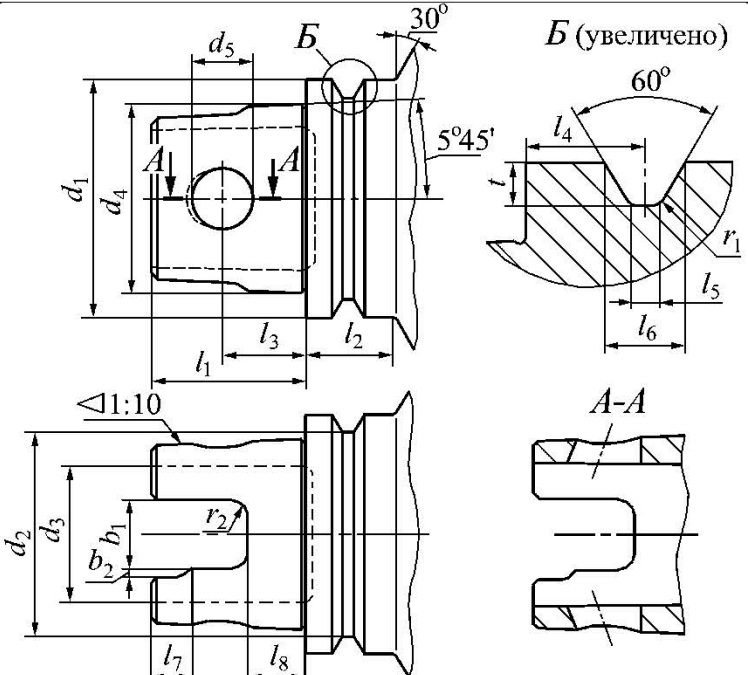
Рис. 7.12. Ручное закрепление хвостовиков системы «KM WIDAFLEX»

В положении «раскрепление» запорный стержень 5 посредством гидравлического толкателя (по стрелке) или путем поворота эксцентрика 4 перемещается в направлении резца 1. Шарики 2, свободно размещенные в выталкивателе 7, попадают в углубления запорного стержня и не препятствуют размещению хвостовика резца 1 в коническом отверстии резцедержателя 6.

Для перехода в положение «закрепление» необходимо или повернуть эксцентрик 4 на 140° , или отвести гидравлический толкатель. Усилие закрепления создается пакетом тарельчатых пружин 3. В результате запорный стержень 5 своими скосами выталкивает шарики 2 в отверстия диаметром d_5 (табл. 7.4). За счет наклона этих отверстий происходит подтяжка хвостовика резца 1 на торец резцедержателя 6. Окончательная сила закрепления определяется пакетом пружин 3.

Таблица 7.4

Основные размеры хвостовика «KM WIDAFLEX», мм



d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l_1	l_2 , не более	l_3	$l_4 \pm 0,1$	l_5
25	22,00	14,3	20	6,5	16	8	7,9	4,5	2,25
32	26,96	17,7	24	7,5	20	10	10,8	4,9	2,25
40	36,90	21,0	30	9,5	25	12	13,6	5,9	2,25
50	42,70	28,2	40	12,5	32	16	17,2	8,9	3,75
63	55,70	35,2	50	14,5	40	18	22,4	9,9	3,75
80	72,70	48,0	64	18,0	45	20	25,0	11,0	3,75
100	92,70	62,0	82	20,0	50	22	26,7	11,0	3,75

d_1	l_6	l_7	l_8	b_1	B_2	t	r_1	r_2
25	2,8	4,0	5,5	8,2	1,0	1,50	0,5	3,0
32	2,8	4,8	8,0	9,0	1,5	1,50	0,5	3,0
40	2,8	6,0	11,0	10,0	2,0	1,50	0,5	4,0
50	5,8	8,5	12,0	14,0	2,0	3,65	1,0	4,0
63	5,8	9,3	18,0	16,0	2,0	3,65	1,0	4,0
80	5,8	10,0	18,5	20,0	2,5	3,65	1,0	6,0
100	5,8	13,0	19,0	24,0	2,5	3,65	1,0	6,0

Существенно важно, что хвостовик, имеющий прорезь шириной b_1 (см. табл. 7.4), упруго деформируется, что гарантирует полный контакт по всем коническим поверхностям.

Специальные конструкции хвостовиков «Capto», «KM WIDAFLEX» и «Maxiflex UTS» предназначены для работы в самых различных условиях. На рис. 7.13 показаны характерные области нагрузок для чистовой (F), получистовой (M), легкой черновой (LR), черновой (R) и тяжелой черновой обработки (HR).

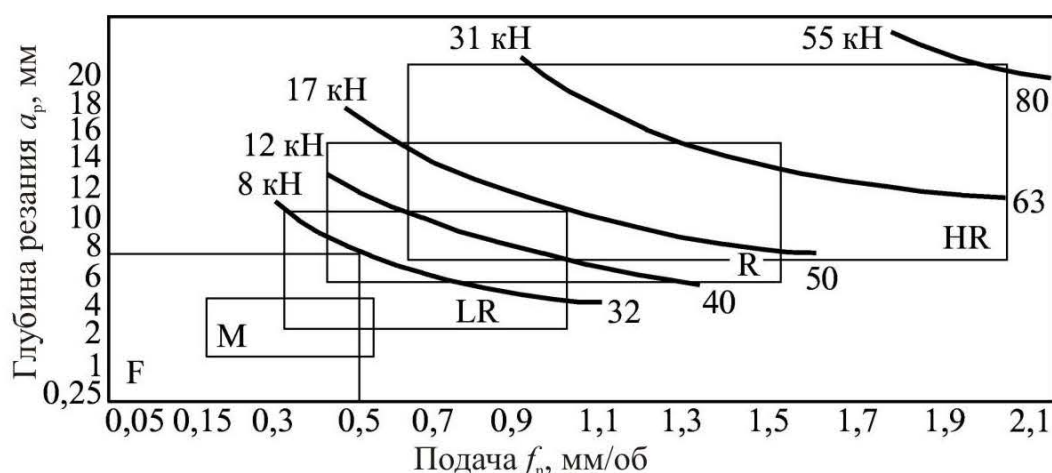


Рис. 7.13. Максимальные допускаемые силы резания F_f в зависимости от типоразмера хвостовика КМ

Для обработки легированных сталей резцами с твердосплавной ромбической СМП с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ максимальная тангенциальная сила резания P_y для хвостовика с размером 32 имеет значение (с запасом на ее рост по мере износа режущей кромки) порядка 8 кН и соответствует глубине резания $a_p = 7,5$ мм и подаче $f_n = 0,5$ мм/об.

Из рис. 7.13 следует, что инструмент с хвостовиком типоразмера 32 можно без ограничений использовать для чистовой (F) и получистовой (M) обработки. Для легкой черновой обработки (LR) этот инструмент применяется ограниченно.

На режимы резания инструментом со специальными хвостовиками влияет вылет резцов из резцедержателя. На рис. 7.14 показано, как необходимо уменьшить площадь сечения среза ($a_p \times f_n$), если по условиям наладки необходим удлиненный инструмент.

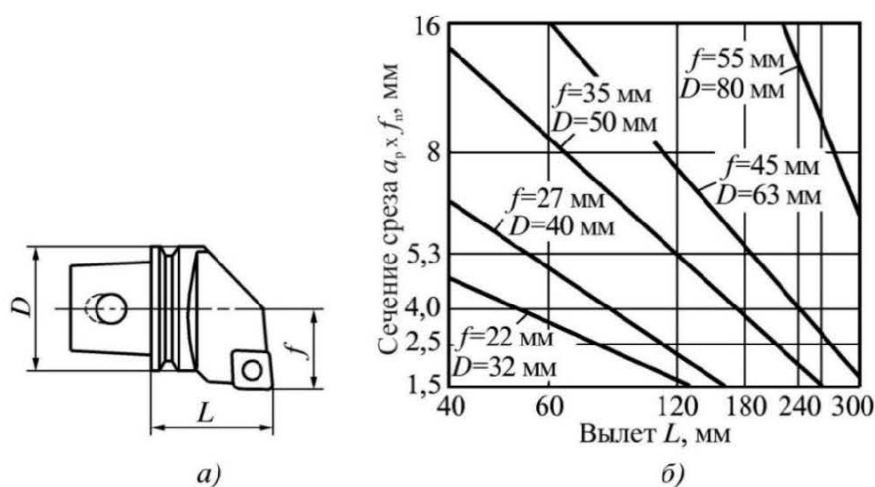


Рис. 7.14. Зависимость сечения среза ($a_p \times f_n$) от вылета L резца с хвостовиком КМ:
а — резец; б — диаграмма предельных значений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выпуска качественной и конкурентоспособной продукции инженерно-технический персонал машиностроительных предприятий должен знать теоретические основы создания технологической оснастки, их систем и типовых конструкций. Необходимо уметь анализировать соответствие применяемых конструкций требованиям производства и обладать необходимыми навыками их проектирования и расчета. Для конструирования технологической оснастки основой служат теоретическая механика, сопротивление материалов, взаимозаменяемость и стандартизация, теория механизмов и машин, детали машин и др.

В предлагаемом учебном пособии по дисциплине «Проектирование технологической оснастки» подробно освещаются современные достижения в части установки и закрепления заготовок в приспособлениях, связанные с расчетами точности обработки и конструктивных параметров технологической оснастки.

Обращено внимание на изучение методики конструирования и расчета приспособлений, развиваются и синтезируются основные положения курса «Основы технологии машиностроения» применительно к задачам конструирования приспособлений, к выбору и обоснованию принимаемых решений.

Даны результаты исследований влияния приспособлений на точность и производительность технологических операций, позволяющие проектировать приспособления, повышающее его производительность.

Приведено большое количество эскизов приспособлений с их описаниями. Уделено внимание унификации и стандартизации элементов технологической оснастки, что создает основу для ее автоматизированного проектирования с применением персональных компьютеров и компьютерной графики.

В связи с развитием цифрового машиностроения на предприятиях будет постоянно ощущаться потребность в квалифицированных конструкторах технологических отделов, способных разрабатывать новейшие образцы необходимой оснастки на современном уровне.

Настоящее учебное пособие может служить закреплению теоретических знаний и поэтапному приобретению первичных навыков конструирования различных приспособлений для механосборочного производства. Проектирование технологической оснастки требует определенных знаний и умения самостоятельно извлекать и использовать необходимую информацию из научно-

технической литературы. Для облегчения этой работы в учебном пособии приводится достаточный минимум литературных источников.

В этом плане издание окажется полезным не только студентам, выполняющим задания для практических занятий по дисциплине «Проектирование технологической оснастки», но и для всех студентов механических специальностей, выполняющих курсовые и дипломные проекты с обязательной разработкой технологической оснастки для производства изделий машиностроения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецов, Ю. И.* Технологическая оснастка для станков с ЧПУ и промышленных роботов: учебное пособие / Ю. И. Кузнецов. — Москва : Машиностроение, 1987 — 112 с.
2. *Корсаков, В. С.* Основы конструирования приспособлений : учебник для вузов / В. С. Корсаков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1983 — 227 с.
3. *Кузнецов, Ю. И.* Конструкции приспособлений для станков с ЧПУ: учебное пособие / Ю. И. Кузнецов. — Москва : Высшая школа, 1988 — 303 с.
4. *Кузнецов, Ю. И.* Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1990 — 359 с.
5. *Антонюк, В. Е.* Конструктору станочных приспособлений : справочное пособие / В. Е. Антонюк, А. Р. Маслов. — Минск : «Беларусь», 1996. — 400 с.
6. *Григорьев, С. Н.* Инструментальная оснастка станков с ЧПУ : справочник / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов ; под общей редакцией А. Р. Маслова. — Москва : Машиностроение, 2006. — 544 с.
7. *Маслов, А. Р.* Приспособления для металлообрабатывающего инструмента : справочник / А. Р. Маслов. — 3-е изд., исправ. и доп. — Москва : Машиностроение, 2006. — 320 с.
8. *Маслов, А. Р.* Конструирование инструментальной оснастки / А. Р. Маслов. — Москва : Янус-К, 2012. — 152 с.
9. *Левина, З. М.* Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. — Москва : Машиностроение, 1971. — 264 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под редакцией А. С. Васильева, А. А. Кутина. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Инновационное машиностроение, 2018. — 818 с.
11. Справочник конструктора-инструментальщика / под общей редакцией В. А. Гречишникова, С. В. Кирсанова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 2006. — 542 с.
12. Учебное пособие по курсу «Технология обработки металлов резанием» // АВ “Sandvik Coromant”. — 2009. — 180 с.